



ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2016

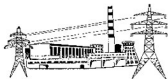
**VI МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**(электроэнергетика,
электротехника и теплоэнергетика,
математическое моделирование и
информационные технологии в производстве)**

24 – 25 ноября 2016 г. Смоленск

СБОРНИК ТРУДОВ ТОМ 1

СЕКЦИИ 1, 2, 3



ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2016

***VI МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ***

**(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,
математическое моделирование и информационные технологии в
производстве)**

24 – 25 ноября 2016 г. Смоленск

СБОРНИК ТРУДОВ

ТОМ 1

СЕКЦИИ 1, 2, 3



НИВЕРСУМ

СМОЛЕНСК 2016

УДК 533.1:536.2:620.9+621.31;
532.5+378.147

Э 65

Р е ц е н з е н т ы :

Доктор технических наук, профессор Кавченков В.П.

Кандидат технических наук, доцент Рожков В.В.

Доктор технических наук, профессор Панченко С.В.

Доктор технических наук, профессор Борисов В.В.

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2016 – ЭИИ-2016. В 3 томах –
Смоленск: Универсум, 2016.

ISBN 978-5-91412-320-5

Том 1.Секции 1, 2, 3. – 372 с.: ил.

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2016», состоявшейся 24-25 ноября 2016 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области энергетики, электротехники, теплоэнергетики, математического моделирования технических систем и информационных технологий в производстве.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в указанных областях.

Сохранена авторская редакция.

ISBN 978-5-91412-320-5

© Авторы
© филиал МЭИ в г. Смоленске, 2016

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

М. В. Акулов, маг., В. П. Максимов, д.п.н., проф.
(ФГБОУВПО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск)
**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ
САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Удовлетворенность потребителей деятельностью поставщиков электроэнергии определяется своевременностью поставки электроэнергии в необходимом объеме, надежностью бесперебойности электроснабжения и качеством поставляемой электроэнергии.

В.В. Ефимов в своем пособии дает исторический обзор формирования понятия «качество». Первым, кто в известной литературе упомянул о качестве как о понятии, был Аристотель (3 век до н. э.). Он вкладывал в понятие качество различие между предметами по признаку «хороший-плохой». В китайских рукописях пятого века нашей эры иероглиф «качество» состоял из двух элементов: равновесие и деньги за него уплаченные. То есть оно близко к понятию Аристотеля о потребительской оценке. Немецкий философ Гегель (19 век) дал этому понятию четкую философскую окраску: «Качество есть в первую очередь тождественная с бытием определенность, так что нечто перестает быть тем, что оно есть, когда оно теряет свое качество» [1].

Известный специалист в области качества У. Шухарт (США) в 1931 году понятию качество придал два аспекта: с одной стороны, объективные физические характеристики предмета, с другой – субъективная категория – насколько предмет «хорош». Японский ученый К. Исикава (1950 г.) и американец Д. Джуран (1979 г.) вложили в понятие «качество – степень удовлетворения потребностей потребителя продукции». Другие ученые в своих определениях «качества» практически не изменили содержание этого понятия.

Государственный стандарт СССР 1984 года дает следующее определение «Качество продукции – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». Ныне действующий национальный стандарт России системы менеджмента качества ГОСТ ISO 9000-2011 утверждает, что качество – это степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям [2, п. 3.1.1].

Осознавая важность электроэнергетики, как ведущей отрасли экономики любого государства, основываясь на варианте китайского определения, можно дать описание категории «качество» применительно к условиям товарно-денежных отношений. Тогда, электроэнергию следует рассматривать, с одной стороны, как товар, имеющий определённую ценность для потребителя и удовлетворяющий его потребность, а с другой стороны физическое понятие, которое характеризуется способностью электроэнергии совершать работу в процессе её производства, передачи, распределения и потребления.

Рыночные характеристики электроэнергии как товара должны соответствовать конкретным заранее установленным требованиям или этот товар должен обладать особыми потребительскими свойствами, но товарное отношение к электроэнергии регулируется законами рынка, в частности, законами спроса и предложения, субъективностью её восприятия и оценки, которые осуществляют потребители. В то же время, физические характеристики электроэнергии объективны и определяются совокупностью свойств, связанных с физическим воздействием на электрооборудование, приборы, материалы и оцениваются количественными показателями, характеризующими различные отклонения в системе электроснабжения по частоте, действующему значению напряжения, форме его кривой, симметрии и импульсам напряжения.

Выбор критериев качества определяется такими аргументами, в которых отличие показателей качества электроэнергии от допустимых значений, установленных в стандартах, договорах и других нормативно-правовых документах может привести к нарушению безопасности жизни и здоровья человека, к имущественному ущербу физических и юридических лиц. Поэтому в первую очередь требования к качеству электроэнергии государство традиционно возлагает на источник поставки этой продукции конечному потребителю. В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 32144-2013, который введен в качестве национального стандарта Российской Федерации, качество электрической энергии (КЭ) – это степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей [3, п. 3.1.38].

Однако, в рыночных условиях при наличии многих субъектов электроэнергетики, от деятельности которых зависит качество электроэнергии в точке поставки конечному потребителю, это понятие становится необходимым элементом взаимоотношений этих субъектов, в особенности субъектов связанных технологически, а именно, генерирующих компаний, Федеральной сетевой компании, региональных и территориальных сетевых компаний.

Потребитель электроэнергии вправе ожидать, что качество поставляемой ему электроэнергии будет таким, чтобы обеспечивалась безопасность жизни и здоровья гражданина, а также функциональная безопасность технических средств, принадлежащих потребителю, но использование самими потребителями различной преобразовательной техники ведет к росту абсолютных величин высших гармоник тока, которые массово создаются всё более распространенными электронными преобразователями внутри самой электросети.

В связи с этим, возникает необходимость комплексного контроля качества электроэнергии всеми участниками рынка электрической энергии, и первую очередь со стороны потребителей. Так в качестве примера, технико-коммерческое предложение типового проекта научно-производственного предприятия «Прорыв» предлагает территориальной системы контроля и управления показателями качества электроэнергии [4].

Интернет-журнал «Путеводитель по энергетике» дает описание системы мониторинга показателей качества электроэнергии, состоящую из двух подси-

стем: подсистемы, состоящей из автономных средств измерения, анализа и передачи информацию и подсистемы централизованной регистрации показателей качества электроэнергии и их статистической обработке [5].

В Сахалинском государственном университете при участии сбытового подразделения ОАО «Сахалинэнерго» и ООО «Электротехнические системы» в 2014 году разработана и внедрена региональная программно-технологическая система Мониторинга Качества Электроэнергии (МКЭ), которая позволяет в любой точке электроснабжения в сетях высокого, среднего и, что особо важно, низкого напряжений получать комплексные данные в режиме реального времени. Система позволяет осуществлять: архивирование собираемой информации; классификацию событий в электрической сети по международному стандарту; круглосуточный доступ к информации из любой точки мира; совместимость с распространенным программным обеспечением пользователя; защиту от сбоев и контроль функционирования системы.

Система создана на основе использования приборов учета и контроля качества электроэнергии и специальной компьютерной программы, в которую вносятся сведения обо всех действующих на территории области элементах системы энергоснабжения: трансформаторных подстанциях, линиях электропередачи различной мощности, кабельных трассах, приемников электрической энергии и так далее. По словам специалистов подрядной организации — хабаровского ООО «Электротехнические системы», Южно-Сахалинск будет первым городом в России, где для управления энергосистемой будет реализована всеобъемлющая электронная модель потребительской оценки качества электроэнергии.

Основные результаты проекта МКЭ, которые были озвучены на коллегии Министерства энергетики и ЖКХ Сахалинской области в сентябре 2016 года:

- обоснование целевых показателей электроснабжения Сахалинской области на период до 2027 года с учетом оценки текущего состояния системы электроснабжения и прогнозируемых показателей спроса;
- определение перечня необходимых проектов, обеспечивающих прогнозируемый спрос на электрическую энергию и мощность по всем годам, а также обеспечивающих все целевые показатели качества электроснабжения;
- расчет и моделирование технических параметров проектов электроснабжения;
- расчет необходимых затрат (по статьям) и ожидаемых эффектов (в натуральном выражении и в рублях) для каждого проекта и инвестиционной программы в целом;
- оценка тарифных последствий реализации инвестиционной программы.

Выполненная в симбиозе с географической и сетевой информационными системами, система МКЭ может быть представлена в виде интерактивной карты, которая может отражать не только подробную информацию о текущем состоянии системы, но и возможности для ее развития. С помощью документирования объектов энергосистемы и создания электронной базы данных можно быстро и эффективно решать вопросы технического присоединения новых объектов де-

ловой и жилой застройки, моделировать различные ситуации и просчитывать необходимость модернизации. Потребительская схема сетей 0,4 кВ выполнена комплексно, с увязкой между собой распределительных сетей 6-10 кВ, а также с учетом электроснабжающих сетей 35, 110 и 220 кВ.

Система имеет существенные возможности расширения в ходе эксплуатации, в том числе организации доступа по каналам GSM и каналам радиосвязи, с возможностью внедрения в других регионах Дальнего Востока Российской Федерации, и экспортной адаптации к территории США, Японии и Южной Кореи.

Система МКЭ решает часть проблем по предотвращению аварий и минимизирует последствия случаев ухудшения качества электроэнергии для энергоснабжающих организаций. Она позволяет автоматически обнаруживать существенное снижение электрического напряжения, определять направление их распространения; идентифицировать источник и место возникновения дефектов линии и вычислять расстояние от контрольной точки до дефекта; измерять импульсные напряжения с передачей информации на устройства сбора и передачи данных, производить измерение и запись по токовым каналам, в том числе: среднеквадратическое значение тока; значения активной и реактивной мощностей и углов сдвига фаз; расчет коэффициентов гармонических составляющих тока.

Собираемая информация может быть кодирована и предоставлена пользователю только после прохождения авторизации. Срок хранения информации не ограничен. Система безопасности гарантирует не только защиту, но и поиск источника помех и несанкционированного вмешательства.

Потребителям электроэнергии система МКЭ даёт возможность осуществлять непрерывный контроль за техническим состоянием силового оборудования, контуров заземления, состояния изоляции, зануления, установившимся режимом работы распределительной сети, а также непрерывный контроль работы релейной защиты и автоматики, систем гарантированного энергоснабжения, грозозащиты и отключающих устройств. Потребители получают информацию об аварийных событиях, таких как короткие замыкания, провалы и перенапряжения, угроза возникновения пожара.

Внедрение системы обеспечивает реализацию права потребителя на получение электроэнергии надлежащего качества путем инструментального контроля положений договора на энергоснабжение и соблюдение договорных условий в части качества. В результате функционирования системы появилась объективная доказательная база для эффективного страхования от опасных событий в электросети, жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, муниципального и государственного имущества и окружающей среды, учитывающая требования качества электроэнергии.

Эксплуатация системы в течение двух лет продемонстрировала сокращение затрат на ремонт и замену оборудования потребителей, вышедшего из строя по причине систематических неконтролируемых событий в сети электропитания; возмещение исков потребителей электроэнергии при поставке некачественной электроэнергии; возмещение страховых случаев по событиям в электросети по

вине поставщика; снижение случаев поставки электроэнергии несоответствующего качества.

Мониторинг качества электроэнергии позволил выявить основных потребителей – виновников ухудшения качества энергии по несимметрии и несинусоидальности, источники генерации токов обратной и нулевой последовательности, токов высших гармоник, распространяющихся по всей сети. Такие потребители ухудшают качество энергии на шинах других потребителей, что вызывает справедливые нарекания со стороны остальных потребителей к электроснабжающей организации, отвечающей за качество в точке присоединения потребителя.

Возможность информировать виновников ухудшения качества электроэнергии и выделить средства на необходимые организационно-технические работы для уменьшения эмиссии искажений в питающую сеть подкрепляется объективными данными системы. Появляется возможность экономически выгодно принять меры по ограничению вносимых искажений. Наиболее простым и очевидным решением является введение такой системы тарифов для расчетов за электроэнергию, при которой плата за электроэнергию в случае внесения искажений качества электроэнергии потребителем существенно возрастает.

В качестве выводов отмечаем, что:

1. Существенным в решении проблемы обеспечения качества электроэнергии является использование инструментальных технологий и применение специализированных программных систем мониторинга качества электроэнергии, способных определить количественную величину и виновника ухудшения качества.

2. Эффективность инструментальных технологий может быть обеспечена только экономическими механизмами воздействия на участников электроснабжения и потребления в зависимости от степени их виновности в ухудшении показателей качества.

3. Условием решения проблемы обеспечения качества электроэнергии должна быть информационная доступность системы мониторинга качества электроэнергии для всех участников процесса производства, передачи и потребления.

4. Требования конечных потребителей (граждан России) электроэнергии должны учитываться в разработке стандартов при выборе норм качества электрической энергии в системах электроснабжения.

Литература

1. Ефимов В.В. Управление качеством: Учеб.пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – С. 7.
2. ГОСТ ISO 9000-2011 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь //Электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы[Электронный ресурс]. – URL:<http://docs.cntd.ru/document/gost-iso-9000-2011/> (дата обращения 25.09.2014).
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения //Электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы [Электронный ресурс]. – URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200104301/> (дата обращения 25.09.2014).
4. Техничко-коммерческое предложениетипового проектатерриториальной системы контроля и управленияпоказателями качества электроэнергии «Прорыв» //Научно-производственное предприятие «Прорыв». [Электронный ресурс]. – URL:<http://kareliainvest.ru/file.php/id/f4237/> (дата обращения 25.09.2014).

*Е.С. Андреенков, асс.; С.А. Шунаев, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ЛЭП 110 кВ

Решение поставленных перед электроэнергетикой задач невозможно без широкого внедрения цифровых (микропроцессорных) вторичных систем измерения, учёта, релейной защиты, диспетчеризации и диагностики линий электропередач (ЛЭП). Существующие методы диагностики требуют серьезной модернизации. Кроме того, необходимо переходить к многоагентным системам контроля и диагностики подвесной изоляции.

К таким методам можно отнести разрабатываемый метод телеметрического контроля состояния подвесной изоляции [1], основанный на оригинальном способе оценки перераспределения напряженности электрического поля вдоль гирлянды подвесных изоляторов, позволяющий с достаточно высокой точностью локализовать место повреждения изоляции воздушных линий и распределительных устройств. Одной из основных причин выхода из строя гирлянд изоляторов является появление в них так называемых «нулевых» изоляторов, то есть изоляторов, утративших свои диэлектрические свойства.

Метод подразумевает оснащение каждой гирлянды изоляторов собственным устройством контроля напряжения электрического поля, связанного по беспроводному каналу с центром сбора данных. Ключевым звеном данного устройства является датчик напряжения. Поэтому актуальной становится задача разработки такого датчика.

Проведенный анализ показал, что наиболее уместны в системе мониторинга и контроля изоляции емкостные датчики напряжения, в основе работы которых лежит использование емкостного делителя для измерения величины подведенного напряжения. Емкостный делитель имеет высоковольтное плечо C_1 (рисунок 1) и низковольтное плечо C_2 .

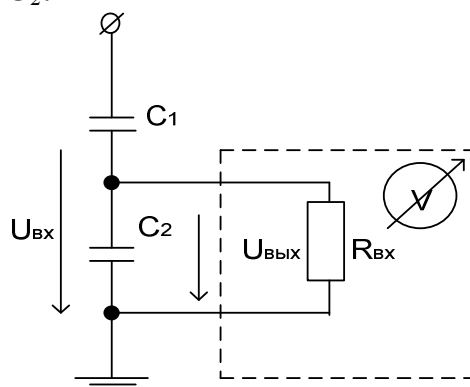


Рисунок 1 – Схема емкостного делителя

Емкость высоковольтного плеча должна быть много меньше емкости низковольтного плеча, в этом случае практически всё высокое напряжение $U_{\text{вх}}$ при-

ходится на высоковольтное плечо, которое часто выполняют последовательным соединением нескольких конденсаторов. Входное и выходное напряжения делителя связаны друг с другом коэффициентом деления:

$$k = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (1)$$

Гирлянду подвесных изоляторов можно рассматривать как систему последовательно соединенных элементов, обладающих определенной емкостью. Тогда становится возможным использование самой гирлянды изоляторов в качестве конструктивного элемента датчика, так как при появлении нулевого изолятора (изменении его диэлектрической проницаемости) будет меняться и емкость всей гирлянды изоляторов, что в свою очередь можно зафиксировать на низковольтном плече в виде возросшего напряжения.

Возникает задача выбора конструктивного исполнения и параметров низковольтного плеча, в качестве которого предлагается установка на фазный провод линии n -слойного цилиндрического конденсатора (рисунок 2) с радиусами изоляционных слоев $r_1R_1; r_2R_2; \dots r_nR_n$. Таким образом, эту систему можно представить в виде последовательно соединенных n цилиндрических конденсаторов, представленных на схеме (рисунок 3).

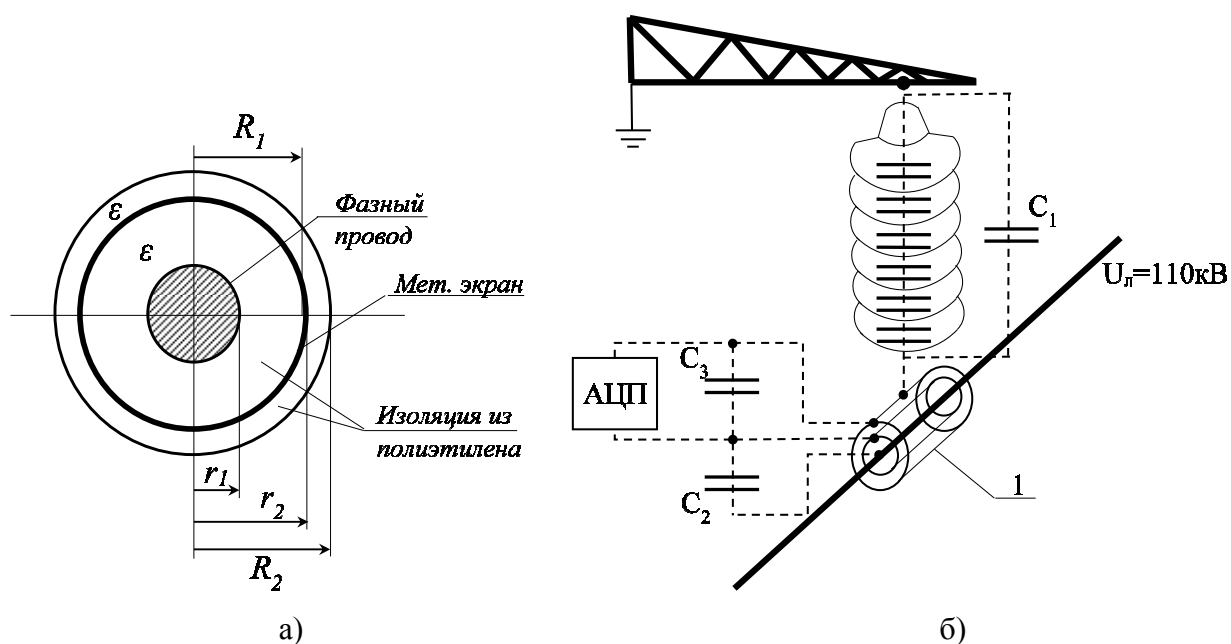


Рисунок 2 – Конструктивная схема двухслойного цилиндрического конденсатора (а) и датчика напряжения (б)

Анализ такой конструкции показывает, что эквивалентная емкость системы конденсаторов относительно заземлённых частей определяется только емкостью подвесной гирлянды изоляторов. Учитывая это обстоятельство, выходные параметры датчика не зависят от конфигурации сети и высоты его размещения над поверхностью земли.

Емкость C на единицу длины цилиндрического конденсатора может быть определена с помощью уравнения:

$$C = \frac{Q}{E_r - E_R} = \frac{1}{2 \ln \frac{R}{r}} \quad (2)$$

Выражая в выражении (2) Q и E в электрических единицах, емкость C получим в сантиметрах ($\text{см} \cdot \text{см}^{-1}$). Для перевода в Фарады используется множитель $1/9 \cdot 10^{11}$, т.е. чтобы получить емкость в пикофарадах (пФ) на 1 см длины, числовой множитель должен быть изменен на $10^{12}/9 \cdot 10^{11} = 1,11$, или в общем виде емкость цилиндрического конденсатора определяется следующей зависимостью:

$$C_x = \frac{1,1 \cdot l_x \cdot \varepsilon}{2 \ln \frac{R_x}{r_x}} = \frac{0,555 \cdot \varepsilon \cdot l_x}{\ln \frac{R_x}{r_x}}, [\text{пФ}] \quad (3)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость изоляционной среды; r_x – внутренний радиус одного из цилиндрических слоев изоляции, см; R_x – наружный радиус того же слоя изоляции, см; l_x – длина наружной обкладки данного расчетного слоя x .

Если изоляция имеет несколько слоев, то емкость каждого слоя определяется по (3), а эквивалентная емкость всех слоев изоляции:

$$C_3 = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{C_j}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} \quad (4)$$

Напряжение на i -ом слое изоляции определяется следующим уравнением:

$$U_i = \frac{U}{C_i \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_j}} = \frac{U \cdot C_3}{C_i}, \quad (5)$$

где U – напряжение, приложенное к изолятору (системе из j слоев изоляции); C_i – емкость i -го слоя изоляции; C_3 – эквивалентная емкость всех слоев изоляции.

Напряжение на первом конденсаторе U_1 будет пропорционально измеряемому напряжению U .

Будем рассчитывать емкостной делитель, включающий в себя гирлянду изоляторов ЛЭП 110кВ и двухслойный цилиндрический конденсатор на фазном проводе. Фазное напряжение такой линии составляет $U_l = 110/\sqrt{3}$ кВ. Рассмотрим случай гирлянды изоляторов, состоящей из 6-ти тарелок.

Расчет емкостного делителя предполагает нахождение геометрических параметров слоев n -слойного цилиндрического конденсатора и определение емкостей каждого слоя с учетом диэлектрической проницаемости материала применяемого диэлектрика.

Геометрическими параметрами делителя будут являться его длина и отношения (r_n/R_n) наружного и внутреннего радиусов слоев.

Согласно [2] емкость одной тарелки $C_{\text{тар}} = 30$ пФ. Тогда эквивалентная емкость гирлянды будет равна:

$$C_{\text{гир}} = \frac{C_{\text{тар}}}{n} = \frac{30 \times 10^{-12}}{6} = 5 \times 10^{-12} (\text{Ф})$$

Зададимся напряжением, приходящимся на низковольтное плечо, $U_{nn} = 10/\sqrt{3}$ кВ. При этом, коэффициент деления высоковольтной части делителя составит:

$$k_{\text{вд}} = \frac{U_1}{U_{nn}} = \frac{110 \times 10^3 \times \sqrt{3}}{10 \times 10^3 \times \sqrt{3}} = 11$$

Исходя из (1), емкость низковольтного плеча, составит:

$$C_{nn} = C_{\text{суп}}(k_{\text{вд}} - 1) = 5 \times 10^{-12}(11 - 1) = 5 \times 10^{-11}(\Phi)$$

С учетом требований к уровню напряжения для работы вторичных цепей принимаем напряжение на выходе делителя $U_2 = 100$ В.

При этом, коэффициент деления низковольтной части делителя составит:

$$k_{\text{нд}} = \frac{U_{\text{нд}}}{U_2} = \frac{10 \times 10^3}{100 \times \sqrt{3}} = 57,7$$

Емкости конденсаторов C_2 и C_3 низковольтного плеча можно определить решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} C_{nn} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} \\ k_{\text{нд}} = \frac{C_2 + C_3}{C_2} \end{cases}$$

При этом: $C_2 = 50,9$ пФ; $C_3 = 2887$ пФ.

Отношения ($K_n = r_n/R_n$) для каждого из слоев можно определить из формулы (3). Зададимся длиной цилиндрического конденсатора $l_x = 10$ см. В качестве материала диэлектрика возьмем сшитый полиэтилен с $\varepsilon = 2,4$. Тогда:

$$\ln(K_1) = \frac{0,555 \cdot \varepsilon \cdot l_x}{C_2}, K_1 = 1,29$$

$$\ln(K_2) = \frac{0,555 \cdot \varepsilon \cdot l_x}{C_3}, K_2 = 1,004$$

Рассмотрим пример, когда радиус фазного провода составляет $R = 1,0$ см. Определим толщину слоев низковольтного плеча. При этом будем считать, что ближайшим слоем к фазному проводу будет слой с емкостью C_2 , тогда внутренний и наружный радиусы этого слоя составят:

$$r_1 = R = 1,0 \text{ см}$$

$$R_1 = r_1 \cdot K_1 = 1,0 \cdot 1,29 = 1,29(\text{см})$$

Внутренний и наружный радиусы слоя, с которого снимается напряжение $U_2 = 100$ В составят:

$$r_2 = R_1 + r_{\text{обол}} = 1,290 + 0,100 = 1,390(\text{см})$$

$$R_2 = r_2 \cdot K_2 = 1,390 \cdot 1,004 = 1,396(\text{см})$$

где $r_{\text{обол}}$ – толщина металлического экрана между слоями, см.

Таким образом, толщина слоя диэлектрика слоя с емкостью C_3 составляет 6,0 мкм.

Рассчитаем величину изменения напряжения на выходе емкостного делителя при появлении в гирлянде нулевого изолятора. При наличии в гирлянде нулевого изолятора, емкость гирлянды составит:

$$C_{\text{сир}} = C_1 = \frac{C_{\text{мар}}}{n} = \frac{30 \times 10^{-12}}{5} = 6 \times 10^{-12} (\Phi)$$

Напряжение U_2 исходя из выражения (5) можно определить следующим образом:

$$U_2 = \frac{U_1}{\frac{C_3}{C_1} + \frac{C_3}{C_2} + 1} = \frac{110 \times 10^3}{\frac{2887}{6} + \frac{2887}{50,9} + 1} = 117,9 (В)$$

Таким образом изменение напряжения $\Delta U = 17,9$ В, что позволяет уверенно диагностировать появление нулевого изолятора в гирлянде.

Предложена методика определения наличия нулевого изолятора пригодная для реализации в системе телеметрического контроля состояния изоляции высоковольтных ЛЭП. Рассчитаны конструктивные параметры емкостного датчика напряжения, который в отличие от применяемых конструкций использует диагностируемую гирлянду изоляторов в качестве высоковольтного плеча емкостного делителя. Вся высоковольтная часть датчика закрепляется на фазном проводе и не имеет электрической связи с землей, что позволяет значительно упростить конструкцию и снизить стоимость изготовления изделия при значительном повышении надежности измерительной системы.

Литература

1. Андреев Е.С., Шунаев С.А. Система диагностики подвесной изоляции воздушных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ // Научное обозрение. 2015. № 8. С. 105-110.
2. Техника высоких напряжений / Под ред. Д. В. Разевига. М.: Энергия, 1976.

Л.В. Вайтеленко, асс.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Входные сигналы устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) помимо информационной составляющей, в качестве которой служат сигналы токов и напряжений основной (промышленной) частоты, содержат также и неинформационные составляющие, в числе которых апериодическая (экспоненциальная) помеха [1]. Причиной появления данной составляющей во входном сигнале является в основном реакция энергосистемы, содержащей элементы с индуктивностью (трансформаторы, воздушные и кабельные линии), на состоявшееся скачкообразное возмущение, а именно короткие замыкания или коммутации.

Оценка погрешности вычислений параметров входных сигналов при воздействии вышеописанной помехи является важной задачей, особенно при реализации точностных характеристик устройств определения места повреждения (ОМП) по параметрам аварийного режима [2].

Математически аналоговый экспоненциальный сигнал $x_a(t)$ можно описать следующим выражением:

$$x_a(t) = X_a \cdot e^{-t/\tau} = X_a \cdot e^{-t \cdot \gamma},$$

где X_a - начальное значение аperiodической составляющей при $t = 0$; τ – постоянная времени затухания переходного процесса; γ – декремент затухания.

Переходя к дискретному виду, получим:

$$x_a(nT) = X_a \cdot e^{-nT/\tau} = X_a \cdot e^{-n \cdot \gamma \cdot T},$$

где n - номер дискретной выборки; T - период дискретизации аналогового сигнала.

Как видно из последнего выражения, при цифровой обработке на результат вычислений будет влиять не только величина начального значения U_a декремент затухания γ , но и число выборок N за период промышленной частоты T_0 : $N = T_0 / T$.

Ввиду того, что в большинстве микропроцессорных устройств защиты цифровая обработка реализуется на основе алгоритма Фурье [3], влияние аperiodической составляющей в данной работе оценено по результатам фильтрации согласно данному алгоритму.

Для этого, во-первых, была исследована зависимость погрешности вычислений синусной δ_s , косинусной δ_c , амплитудной $\delta_{|x|}$ и угловой δ_ϕ составляющих сигнала для различных значений декремента затухания γ при наиболее часто применяемом в устройствах ОМП числе выборок $N = 20$ для входного сигнала вида

$$x(t) = X_m \cdot \sin(\omega_0 t) + X_a \cdot e^{-t \cdot \gamma},$$

где $X_m = X_a = 1$, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 314$ рад/с – угловая частота первой гармоники сигнала. Результаты расчётов представлены в виде графиков на рис. 1.

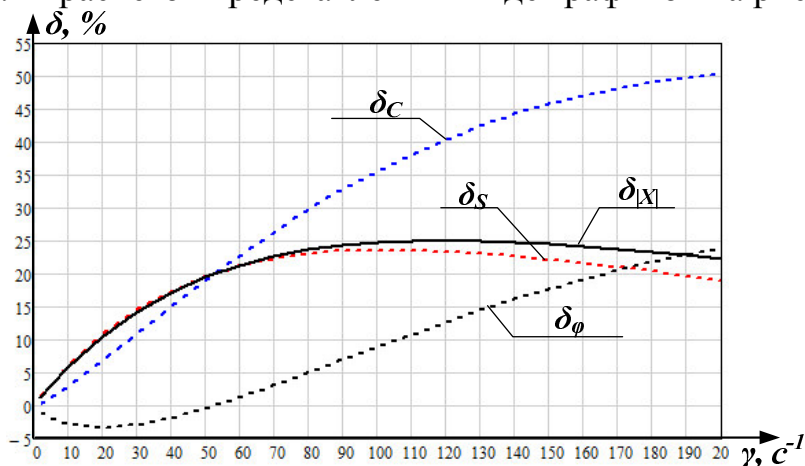


Рис. 1 – Зависимость погрешности вычислений параметров сигнала от величины декремента затухания

Анализируя полученные зависимости, был сделан вывод, что наличие экспоненциальной составляющей во входном сигнале вносит существенную погрешность в результаты вычислений параметров сигнала, причём максимумы погрешностей различны для составляющих. Так для синусной составляющей максимум наблюдается при $\gamma=100$, для модульной – при $\gamma=120$, а для косинусной – при $\gamma=200$. Это объясняется тем, что скорость нарастания погрешности вы-

числения косинусной составляющей намного больше, чем синусной, а сам максимум находится в конце интервала γ . А это, в свою очередь, объясняется тем, что исходный сигнал имеет большую корреляцию с базисной функцией синуса, нежели с функцией косинуса. В результате этого погрешность вычисления угла является максимальной при $\gamma=200$, причем до значения $\gamma=60$ данная погрешность отрицательна.

Для выявления зависимости погрешности от используемого числа выборок N были рассчитаны значения модуля вышеописанного сигнала при $\gamma=120$, ввиду того, что при этом значении декремента затухания погрешность вычисления модуля максимальна. Результаты представлены на рис.2.

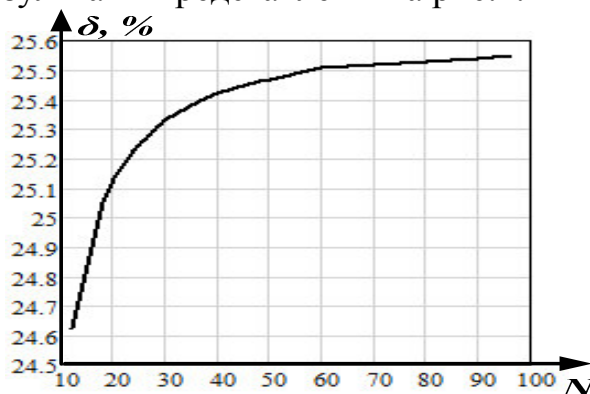


Рис. 2 – Зависимость погрешности вычисления модуля от числа выборок

Можно отметить увеличение погрешности при изменении N от 12 до 30, а затем скорость увеличения погрешности становится незначительной. Однако погрешность вычислений при использовании частоты дискретизации согласно МЭК 61850-6-2 ($N = 80$) увеличивается приблизительно на 0,5% по сравнению с частотами, применяемыми в действующих в настоящее время защитах.

Ввиду того, что апериодическая составляющая со временем затухает, вносимая её наличием погрешность в результаты ДПФ со временем также должна снижаться, в пределе стремясь к нулю. Для исследования зависимости результатов вычисления модуля от величины декремента затухания согласно алгоритму Фурье была рассчитана амплитуда сигнала $x(t) = 1 \cdot e^{-t \cdot \gamma}$ при изменении значений γ от 120 до 2 для времени $nT = 0,02k$, где k - номер периода промышленной частоты. Причём, если полученное значение $|X|$ меньше 0,001, то данное значение приравнивалось к нулю. Результаты вычислений представлены на рис. 3.

Таким образом, при больших декрементах (малых постоянных времени) затухания погрешность вычислений больше, чем при малых, но апериодическая составляющая присутствует в результате вычислений значительно меньшее время (несколько периодов промышленной частоты). При малых значениях декрементов затухания составляющая присутствует в результате даже по прошествии 10-ти периодов промышленной частоты. Для современных микропроцессорных быстродействующих защит минимальное время срабатывания составляет в среднем 0,06-0,08 с, то есть 3-4 периода промышленной частоты, а погрешность вычислений в данное время может оказаться вполне существенной

для вполне вероятных для сетей 110-220кВ постоянных времени затухания 0,05-0,1с.

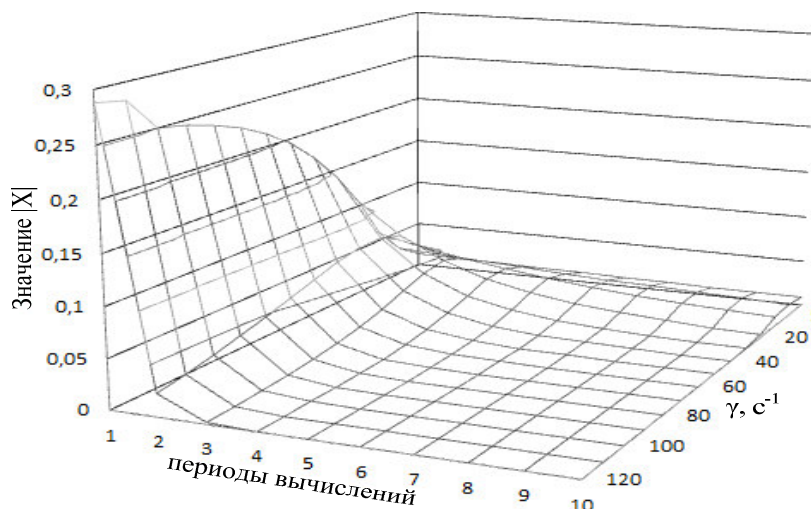


Рис. 3 – Зависимость вычисленного модуля сигнала $|X|$ от декремента затухания γ в различные периоды вычислений

Также экспериментально было исследовано влияние экспоненциальной помехи на правильность функционирования и точность определения параметров срабатывания микропроцессорного устройства РЗиА «Сириус-2-Л». Для этого были смоделированы входные сигналы, содержащие первую гармонику и апериодическую составляющую с действующим значением тока 3 А и декрементами затухания $\gamma=2, 5$ и 100, для микропроцессорного устройства РЗиА «Сириус-2-Л» при помощи программно-технического комплекса «Ретом-61». Пример входного сигнала при $\gamma=2$ приведен на рис. 4.

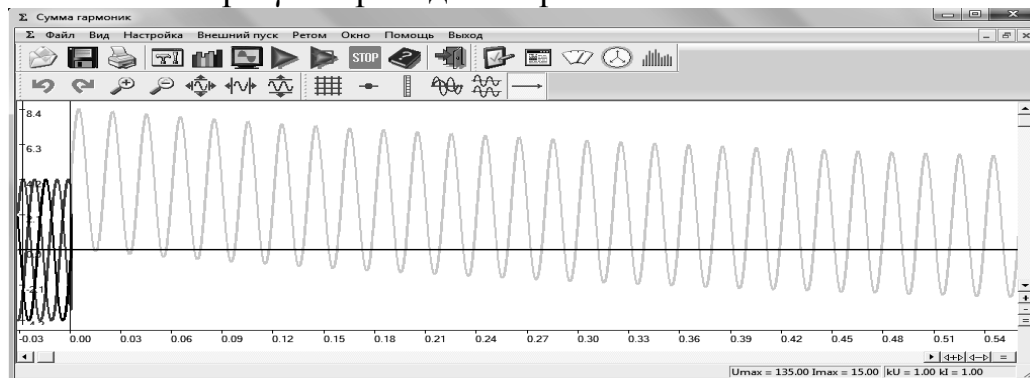


Рис. 4 – Сигнал с апериодической составляющей при $\gamma=2 \text{ с}^{-1}$

Предварительно было определено, что при уставке по току в 3 А и по времени срабатывания 0,01 с блок не срабатывает при подаче входного сигнала, содержащего только первую гармонику тока, действующее значение которого равно 3 А, что объясняется наличием основной погрешности измерений, равной 3%. При подаче сигналов с апериодической составляющей во всех трех случаях блок ложно сработал с параметрами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Измеренный и расчётный ток срабатывания защиты

$\gamma, \text{с}^{-1}$	2	50	100
$I_{\text{ср}_3 \text{ эксп, А}}$	3,07	3,06	3,02
$I_{\text{ср}_3 \text{ расч, А}}$	4,88	4,49	4,20

Сравнивая полученные результаты с расчетными, можно сделать вывод о том, что в термине неосомненно происходит подавление апериодической составляющей, как и указано заводом-изготовителем в [4], но степень этого подавления неполная, и в некоторых случаях при неблагоприятных стечениях обстоятельств, защита может ложно сработать.

Полученные теоретические положения, подтвержденные экспериментально, следует учитывать при проектировании новых устройств релейной защиты и автоматики для более точной оценки аварийных составляющих сигналов и правильности функционирования защит.

Литература

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.
2. Петрова В.А. Оценка аварийных токов и напряжений в электротехнических комплексах методами упрощенной цифровой фильтрации: автореф. дис. канд. техн. наук. , Нижний Новгород, 2015.
3. Вайтеленок Л. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕТИ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВ РЗИА НЕРЕКУРСИВНЫМИ ФИЛЬТРАМИ ФУРЬЕ // Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. трудов XIII науч.-техн. конф. 14-15 апреля 2016 г. Т. 1. Смоленск: филиал МЭИ в г. Смоленске, 2015. С. 9-13.
4. Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-2-Л». Руководство по эксплуатации, паспорт, Москва.

*В.В. Воробьев, маг., В.Н. Белоусов, к.т.н, доц.
(ФГБОУВПО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск)*

РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЕГО СОСТОЯНИЯ

В наши дни, проведя анализ парка силового оборудования электроэнергетических объектов России, четко прослеживается тенденция увеличения процентного содержания оборудования с истекающим сроком службы. Экономические сложности замены устаревающего, но всё еще функционирующего, электроэнергетического оборудования, например, блочных трансформаторов, приводят к тому, что особую важность приобретают методы дистанционного мониторинга подобных объектов. В следствии повышения вероятности аварийных ситуаций.

Одним из перспективных методов определения состояния электроэнергетического оборудования является метод анализа регистрируемого электромагнитного излучения [1]. При этом к достоинствам данного метода можно отнести возможность оперативного контроля под рабочим напряжением и осуществления всех необходимых замеров, без внесения изменений в технологический процесс.

Суть данного метода состоит в том, чтобы регистрировать и распознавать в идущем от оборудования электромагнитном излучении, ту компоненту, которая порождена т.н., частичными разрядами, с наличием и интенсивностью которых тесно связано техническое состояние электроэнергетического оборудования. По анализу выявленной информационной компоненты можно судить о развитии повреждения изоляции электромагнитного оборудования, заранее фиксировать момент зарождения дефекта изоляции трансформаторов. Так же стоит отметить, что фиксация электромагнитного излучения может быть осуществлена при низких температурах.

Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого им электромагнитного поля может происходить по множеству критериев: амплитуде, энергии спектра, по количеству пиков на определенном диапазоне, форме пиков и т.д.

Проводить данный вид диагностики можно как разово, так и периодически. Разовое обследование позволяет выделить аномальные характеристики оборудования. Для прослеживания динамики развития интенсивности сигналов на отдельных частотах, энергии излучения в определенных диапазонах частот, характерных изменений формы сигналов с ростом числа источников электромагнитного поля, необходимо проводить периодические замеры. С помощью не однократной фиксации электромагнитного излучения можно будет составить информационную базу, с помощью которой появится возможность зафиксировать момент возникновения дефекта.

Однако, прежде чем анализировать излучение от электроэнергетического оборудования (высоковольтного трансформатора), требуется выяснить необходимые параметры регистрируемого излучения, определиться с инструментами сбора информации.

Так, время протекания тока частичных разрядов оценивается порядком $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с, и, следовательно, верхняя часть диапазона частот испускаемого излучения может простирается вплоть до сантиметровых волн (порядка 10^{10} Гц). Однако, поскольку корпус трансформатора заземлён и исполняет роль «экрана» для высокочастотных электромагнитных излучений частичных разрядов, расположенных внутри бака трансформатора, в окружающее пространство электромагнитные поля излучаются через элементы конструкции, изолированные от корпуса трансформатора (например, высоковольтные вводы). При этом данные элементы конструкции обладают резонансными свойствами, а это значит, что набор информативных частотных полос, доступных для диагностики ограничивается частотными свойствами излучателей и может быть заранее оценен [1].

Важно, чтобы была возможность зафиксировать весь диапазон частот, несущий полезную информацию о состоянии оборудования. При этом, чтобы следить за изменением текущих процессов в динамике желательно, чтобы исследуемое электромагнитное излучение фиксировалось с частотой не ниже рабочей частоты трансформатора, т.е. 50 Гц и более.

Одним из реально применяемых для этих целей оборудованием является спектромонитор (анализатор спектра) PROMAX. Измерения на нём проводились

в диапазонах частот 40-170 и 160-460 МГц с частотой смены кадров 50Гц. Данный анализатор спектра позволяет произвести аналоговую обработку сигнала, поэтому получаемый сигнал передавался для хранения, визуализации и дальнейшей обработки на компьютер, где он воспринимался в качестве звукового сигнала и обрабатывался в аудио-редакторе [2].

Еще одним аналогом, представленным на рынке, можно считать анализаторы спектра фирмы НЕЛК «Навигатор-ПхГ». Так, например, анализатор спектра Навигатор-П6Г (FSP40) предназначен для измерения мощности электромагнитного излучения в диапазоне от 20 Гц до 40 ГГц.

Возможно, что данный диапазон в большинстве случаев будет избыточным, однако для первичного определения границ излучения электроэнергетического оборудования может быть полезен.

В данный момент наиболее изучен диапазон частот от нескольких десятков мегагерц до одного гигагерца. При этом существует мнение, о высокой информативности спектра низких частот. Высокочастотная область на данный момент является малоизученной, но нельзя исключать, что она так же несет полезную информацию.

Существенным недостатком последнего рассматриваемого анализатора спектра является довольно существенная стоимость, которая может окупиться в случае успешного развития и внедрения данной методики дистанционной оценки состояния электроэнергетического оборудования.

Для получения более объективной картины состояния электроэнергетического оборудования, можно предложить использовать данный метод в качестве дополнительного модуля («экспертизы») в уже разработанной и хорошо себя зарекомендовавшей системе мониторинга состояния высоковольтных трансформаторов «Электронов».

Данная система предназначена для автоматизированного ведения паспортных данных и результатов испытаний оборудования, а также проведения диагностических экспертиз с выдачей оценки состояния и рекомендаций по дальнейшей эксплуатации наблюдаемого объекта [3].

Необходимость совместного использования двух методик обусловлена тем, что на данном этапе сама по себе система мониторинга электромагнитных излучений трансформаторов не способна вовремя спрогнозировать время выхода трансформатора из строя. Связано это с тем, что для выявления дефектов необходимы, во-первых, накопленная «база знаний» конкретного трансформатора, во-вторых, отлаженная математическая модель выделения информационных спектров от шума, а так же модель развития дефектов изоляции.

Литература

1. Рогожников Ю.Ю., Каманин Д.А., Овсянников Ю.М. «Диагностика электроэнергетического оборудования с помощью анализа регистрируемого электромагнитного излучения». Энергетика в глобальном мире: сб. тезисов докладов первого международного научно-технического конгресса. - Красноярск: ООО «Версо», 2010 г. – С.38-39.

2. ЗАО Научно-производственный центр Фирма «НЕЛК» [Электронный ресурс] <http://www.nelk.ru/node/9> (дата обращения 12.10.2016).

3. Максимов В.П., Некрасов М.А. Оценка состояния электрооборудования на основе программного комплекса «Электронов» // Управление качеством электрической энергии: Сборник трудов С 231 Междуна-

*Д.Д. Гордиевский, студ., В.А. Дрокин, студ., С.А. Шунаев, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХАРВЕСТРА НА ОСНОВЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Задача по расширению использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) заложена в проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года [1], и уже сегодня последовательно реализуется политическими решениями в данной области. Так в рамках Восточного экономического форума 2 сентября 2016 года во Владивостоке состоялась сессия «Развитие рынков альтернативной и локальной энергетики на Дальнем Востоке», на которой были обозначены приоритеты и перспективы развития возобновляемой энергетики на российском Дальнем Востоке, а также инструменты государственной поддержки, стимулирующие развитие сектора. Стоит отметить, что развитие возобновляемой энергетики для России важно не столько с точки зрения наращивания генерирующих мощностей, сколько для развития собственных конкурентоспособных наработок в сфере ВИЭ и их экспорт на международные энергетические рынки.

Сразу стоит отметить, что в данной статье речь пойдет не о мощной стационарной энерговырабатывающей системе, а о портативном электрическом харвестре. Энергетический харвестр (от англ. *harvest* - собирать урожай) представляет собой устройство преобразующее солнечную, ветровую, а также тепловую энергию на основании эффекта Пельтье в электрическую. Сборка энергетического харвестра производилась на кафедре ЭЭС филиала НИУ МЭИ в г. Смоленске. Структурная схема устройства приведена на рис. 1 [2].

В ходе испытаний опытного образца наблюдалась нестабильность параметров выдаваемого напряжения и зарядного тока от источника энергии (ИЭ). Данное явление связано с нелинейной зарядной характеристикой аккумуляторной батареи (АКБ), а также переменной солнечной активностью на территории Смоленской области [3]. Следует отметить, что верхняя граница напряжения, выдаваемого ИЭ, была выше максимального напряжения заряда АКБ. Кроме того, в результате длительной работы устройства, температура АКБ увеличивается, вследствие чего возникает необходимость создания системы терморегуляции. Для удобства эксплуатации и контроля харвестра должен быть предусмотрен вывод информации о входных и выходных параметрах устройства, таких как напряжение на ИЭ, АКБ, шине нагрузки, ток ИЭ, освещенность (в том случае, если в качестве ИЭ выступает солнечная панель), как на дисплее контроллера, так и дистанционно, т.е. на экране смартфона или ноутбука.

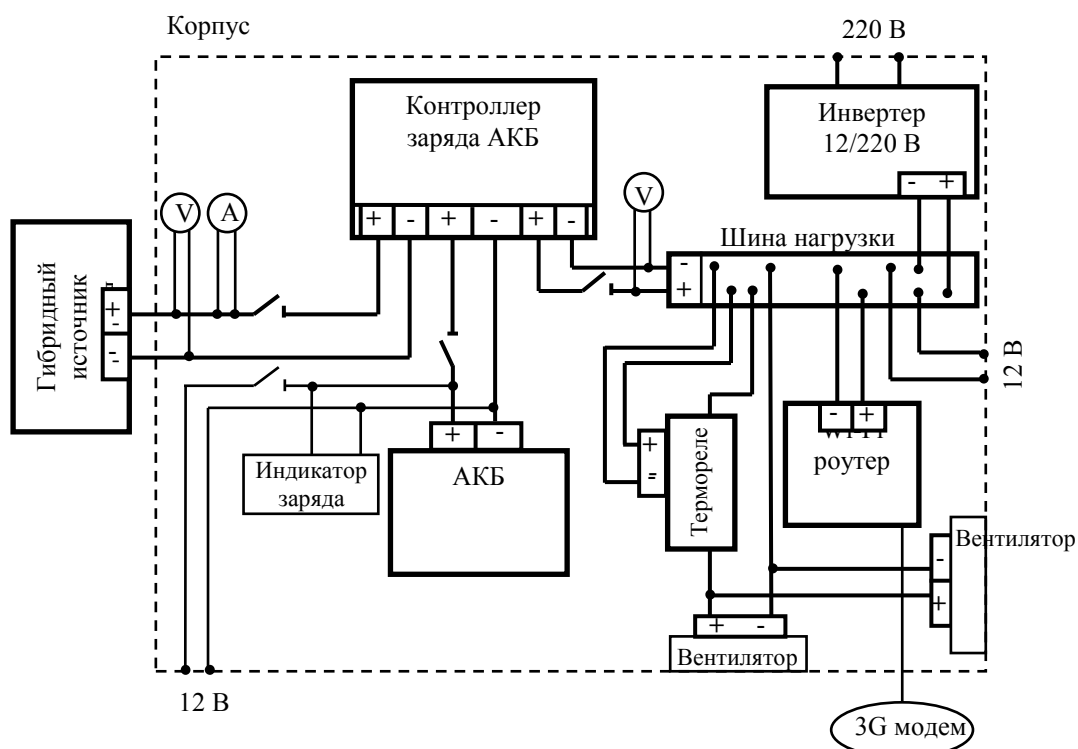


Рисунок 1 – Структурная схема энергетического харвестра.

Таким образом, возникает необходимость в создании контроллера заряда АКБ, позволяющего наиболее эффективно использовать энергию ИЭ и ресурс АКБ. Вместе с тем, желательно чтобы устройство имело возможность вывода информации о всех параметрах на контроллере и передачи ее на портативные устройства; а также обеспечивало терморегуляцию внутри устройства для стабильной работы. Для удобства конструирования предполагается выполнение контроллера по модульному принципу, подразделяя контроллер на подсистемы контроля заряда АКБ, приема, обработки и передачи информации, а также терморегуляции энергетического харвестра.

На основе вышеперечисленных проблем были поставлены следующие задачи:

1. разработка контроллера заряда АКБ на аппаратном и программном уровне;
2. разработка системы приема, обработки и передачи информации о параметрах энергетического харвестра;
3. разработка схемы управления системой охлаждения харвестра;
4. разработка программы контроля параметров при помощи *Android*-приложения;
5. реализация схемы в физической модели.

Одним из возможных путей решения является использование аппаратной платформы *Arduino*. Под *Arduino* понимается совокупность аппаратных и программных средств для построения систем автоматики и робототехники. Аппаратная часть представляет набор смонтированных печатных плат и подключаемые к ним модули, выполняющие различные функции. Программная

часть состоит из *IDE* оболочки для написания программного обеспечения, встроенного компилятора и программатора.

Аппаратная платформа *Arduino*, используемая в качестве контроллера, обладает рядом достоинств:

1. Низкая стоимость. Стоимость контроллера на базе платы *Arduino* сопоставима со стоимостью ШИМ-контроллера;
2. Большой перечень функций, выполняемый на проектируемом контроллере (управление системой охлаждения харвестра, передача данных по *Bluetooth*-соединению и т.д.);
3. Понятная и доступная среда программирования. Используется язык программирования *Processing*, основанный на *C++*, что позволяет использовать библиотеки *C++*.
4. Возможность расширения и дополнения путем создания собственных модулей.

Учитывая поставленные задачи, была доработана структурная схема энергетического харвестра. Данная схема представлена на рис. 2.

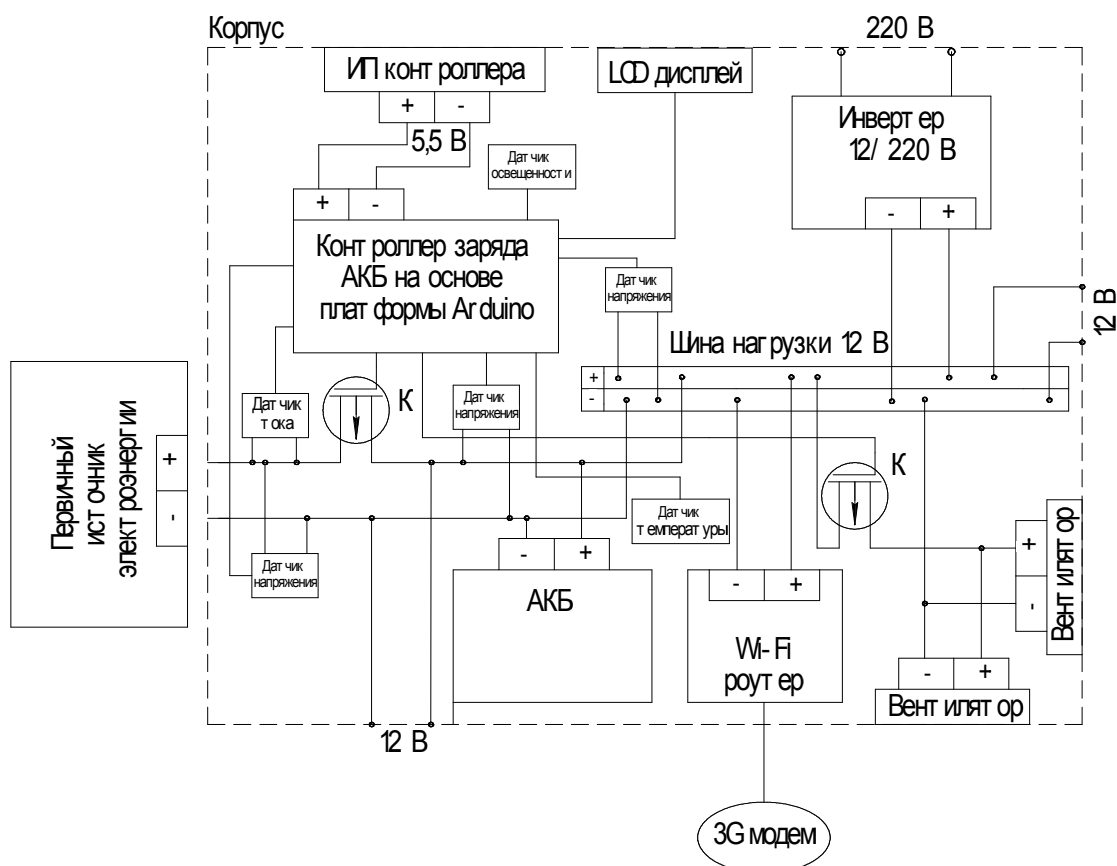


Рисунок 2 – Структурная схема энергетического харвестра с использованием платы *Arduino*.

Как видно из рис. 1 аналоговые приборы были заменены цифровыми датчиками тока, напряжения и температуры. В качестве органа управления работой АКБ и СП выступает мощный *MOSFET*-транзистор, подключенный к ШИМ-выходу *Arduino*, который по сути выполняет функции

ШИМ-контроллера. Система охлаждения также реализована при помощи *MOSI-EI* транзистора и двух вентиляторов.

Схема разработанного контроллера представлена на рис. 3.

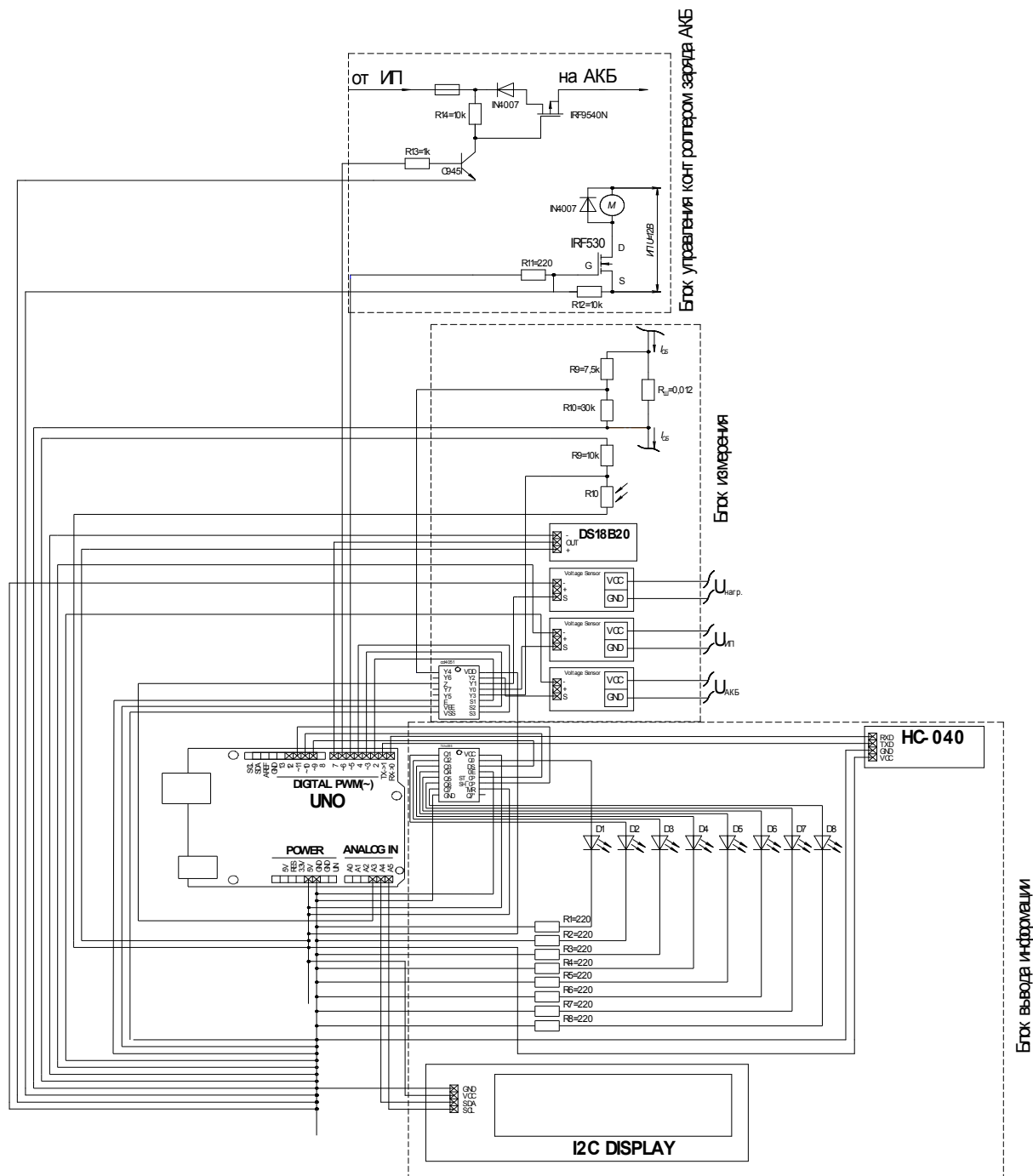


Рисунок 3 – Структурная схема контроллера энергетического харвестра.

Согласно данной схеме, контроллер имеет следующие узлы:

- Узел управления. Данный узел реализован посредством управляемых транзисторных ключей, подключенных на ШИМ-выводы *Arduino*. Первый транзисторный ключ в совокупности с аппаратной платформой представляет собой ШИМ-контроллер. При помощи блока измерения на процессор *Arduino* поступает информация о напряжении АКБ. Далее в результате логических

операций, проводимых в контроллере, на транзистор поступают управляющие импульсы различной скважности, что позволяет изменять питающее напряжение ИЭ.

Второй транзисторный ключ, подключенный к аппаратной платформе при помощи тока управления регулирует работу системы охлаждения энергетического харвестра. Принцип его работы основан на сравнении значения температуры внутри корпуса харвестра с допустимой температурой, которая заранее программируется. Таким образом при помощи управляющего импульса регулируется частота вращения вентиляторов.

- Блок измерения. Данный узел представлен совокупностью датчиков измерения основных параметров энергетического харвестра. Это датчики напряжения на СП и АКБ, а также на шине нагрузки; датчик тока на входе СП, датчик температуры и фотодатчик. Поскольку число подключенных устройств превышало число аналоговых выходов, то потребовалось подключение мультиплексора, позволяющего увеличить число выходов.

- Модуль вывода и передачи информации. Данный узел контроллера представлен совокупностью следующих элементов: *LCD*-дисплей, *Bluetooth*-модуль, а также 8 светодиодов, подключенных через сдвиговой регистр. Каждое из данных устройств выполняет определенные функции. Так, светодиоды представляют собой индикатор заряда АКБ, необходимый для контроля заряда в солнечную погоду. При помощи *LCD*-дисплея и двух кнопок осуществляется вывод информация о параметрах энергетического харвестра, причем во избежание ложного включения кнопки запрограммированы на срабатывание после определенного времени нажатия. Также информация отображается на мониторе порта *Arduino*, что необходимо для проверки программного кода контроллера и представления параметров харвестра в графическом виде с целью их дальнейшего анализа, например, в среде *Mathlab*.

Подводя итоги, следует отметить, что использование аппаратной платформы *Arduino* в качестве контроллера заряда АКБ позволило решить проблему нестабильной выдачи энергии от ИЭ к АКБ. Также на ее основе была реализована схема терморегуляции внутри корпуса устройства и разработана система приема, обработки и передачи информации о параметрах энергетического харвестра. Это позволяет судить о преимуществах аппаратной платформы *Arduino* перед традиционно используемыми ШИМ-контроллерами.

Литература

1. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года.
2. Гордиевский Д.Д., Шунаев С.А. Некоторый опыт конструирования и эксплуатации портативного источника электроэнергии на основе солнечных панелей // Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции ЛЭРЭП-9-15, г. Смоленск, 9 – 11 ноября 2015 г. – С. 200-204.
3. Гордиевский Д.Д., Шунаев С.А. Исследование эффективности работы солнечной панели в условиях климата Смоленской области // сб. трудов V Междун. науч.-технич. конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2015». г. Смоленск: филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске., 26-27 ноября 2015 г. С. 11-16.

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ

Распределительные электрические сети осуществляют поставку электроэнергии промышленным предприятиям, сельскому и коммунальному хозяйству, электрифицированным железным дорогам, газопроводам, и должны обеспечивать надежную, безопасную и экономичную работу в условиях имеющихся нагрузок и системных ограничений. В настоящее время аварийность довольно высока, что приводит к нарушению электроснабжения потребителей.

Значительная доля повреждений и отключений потребителей в распределительных сетях приходится на воздушные линии (ВЛ) 10кВ. Для обеспечения надежности электроснабжения необходимо применение автоматического секционирования и резервирования. Это приводит к применению мероприятий по обеспечению надежности. Одним из эффективных средств повышения надежности является их комплексная автоматизация с установкой секционирующих выключателей (реклоузеров), взаимного резервирования линий через пункты АВР и т.п [1].

Автоматическое резервирование позволяет уменьшить продолжительность аварийных отключений и послеаварийных режимов, сократить затраты на обслуживание, снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям. При реализации данного мероприятия необходима проверка пропускной способности линий при аварийных или ремонтных отключениях головных участков обеих линий. Это обусловлено увеличением нагрузки на оставшихся в работе участках, что требует увеличения пропускной способности.

В общем случае «пропускная способность электрической сети» – технологически максимально допустимое значение мощности, которая может быть передана с учетом условий эксплуатации и параметров надежности функционирования электроэнергетических систем. [2]

Для ВЛ 6 и 10 кВ технологически максимальное допустимое значение передаваемой мощности определяется уровнем напряжения у потребителей, которое должно удовлетворять требованиям [3].

Суммарные потери напряжения от сборных шин 6-10 кВ подстанций 35-110 кВ до наиболее удаленных в указанных режимах работы потребительских ТП 6-10/0,4 кВ могут превысить допустимые значения [4].

Для проверки пропускной способности ВЛ 10 кВ были рассчитаны потери напряжения по участкам ВЛ, максимальные потери напряжения по двум эксплуатируемым линиям 10 кВ (ВЛ1 и ВЛ2) в нормальном режиме и при включенном выключателе пункта АВР.

При проверке использована следующая информация:

- расчетная электрическая схема с указанием номеров опор, длин, марок и сечений проводов участков линии;
- расчетные нагрузки ВЛ 10 кВ (табл.1);

– расчетные нагрузки ТП 10/0,4 кВ (табл.2);

– удельные активные и индуктивные сопротивления проводов;

С использованием исходной информации были выполнены следующие задачи:

1) выбраны и обоснованы места установки двух секционных выключателей на ВЛ1 и ВЛ2 и пункта АВР между этими линиями (рис.1, рис.2) по методике [5];

2) рассчитаны максимальные значения потерь напряжения по обеим линиям (табл.3).

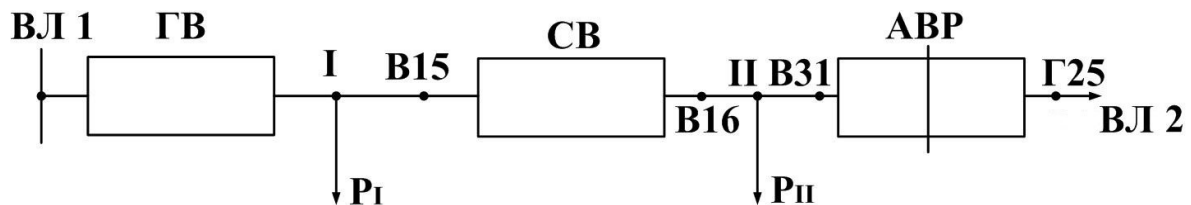


Рис. 1. Схема установки секционированных выключателей и пунктов АВР ВЛ1.

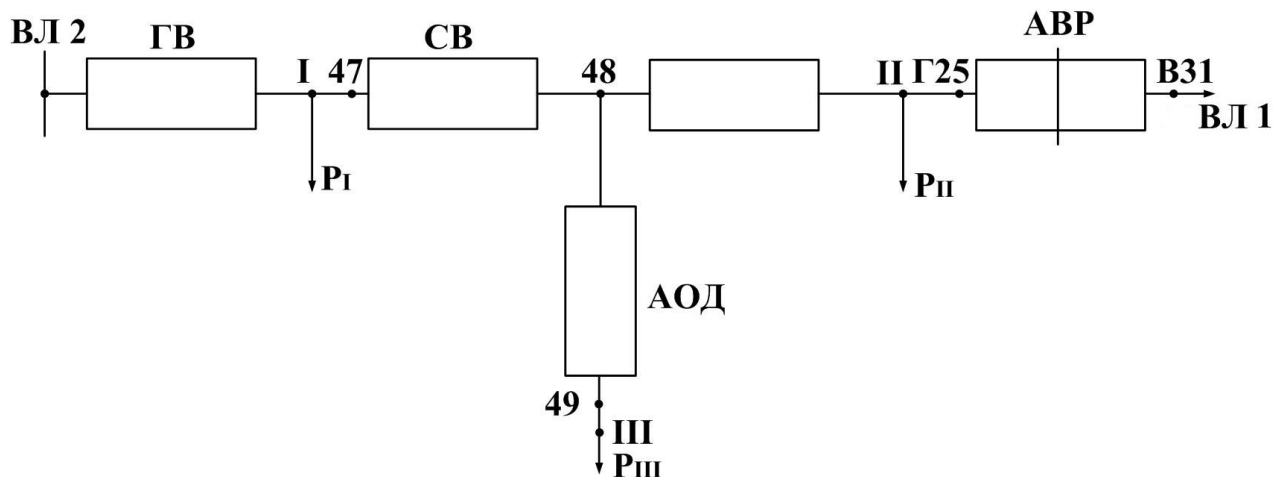


Рис. 2. Схема установки секционированных выключателей и пунктов АВР ВЛ2

На схемах (рис. 1, рис. 2) приняты следующие обозначения: ГВ - головной выключатель; АВР – выключатель (реклоузер) автоматического ввода резерва; СВ – секционный выключатель; АОД – автоматический отделитель (секционлайзер); арабские цифры – номера опор в соответствии с электрической схемой ВЛ.

Таблица 1 – Расчетные нагрузки ВЛ 10 кВ

№ ВЛ 10 кВ	Расчетная нагрузка		Коэффициент мощности, $\text{tg}\varphi$
	Активная, $P_{\text{рл}}$, кВт	Реактивная, $Q_{\text{рл}}$, квар	
1	83	29	0,35
2	1086	297	0,27

Таблица 2 – Расчетные электрические нагрузки ТП 10/0,4 кВ

Наименование ТП	S_{HT} , кВА	P_p , кВт
ВЛ 1		
ТП 1	160	11,7
ТП 2	250	18,3
ТП 3	100	7,3
СТП 1	25	1,83
ТП 4	250	18,3
ТП 5	250	18,3
ТП 6	100	7,3
Всего	1135	83
ВЛ 2		
КТП 1	630	297,7
ТП 7	160	75,5
ТП8	400	188,9
ТП 9	63	29,7
КТП 2	100	47,2
ТП 10	63	29,8
ТП 11	250	118,1
ТП 12	160	75,5
ТП 13	250	118,1
ТП 14	160	75,5
ТП 15	63	29,8
Всего	2299	1086

Таблица 3 – Потери напряжения в нормальном режиме и при включенном АВР.

ВЛ	№ участков ВЛ		Потери напряжения ΔU	
	начало	конец	норм.режим	АВР вкл.
Питание со стороны ВЛ 1				
ВЛ1	0	I	0,133	0,904
	I	B16	0,978	7,033
	B16	B31	0,494	1,92
	B31	Г25	0,366	1,463
ВЛ2	Г25	II	0,131	0,542
	II	48	0,735	2,896
	48	III	0,617	–
	48	I	–	0,607
Итого			3,454	15,365
Питание со стороны ВЛ 2				
ВЛ2	0	I	0,096	0,354
	I	48	1,227	7,198
	48	II	0,041	1,046

	II	Г25	0,161	3,724
	Г25	В31	0,022	1,542
ВЛ1	В31	В16	0	1,073
	В16	I	—	1,089
Итого			1,547	15,849

Анализ данных полученных в табл.4 показывает, что в нормальном режиме потери напряжения в обеих линиях не велики, но в то же время потери напряжения при включенном выключателе пункта АВР составляют 15,4% и 15,9%, что превышает допустимые значения и не обеспечивает требуемые нормы на качество электроэнергии. Таким образом, возникает задача увеличения пропускной способности сети.

Для увеличения пропускной способности по всей длине ВЛ применяются следующие способы:

- реконструкция ВЛ с увеличением сечения провода и сохранением номинального напряжения;
- повышение номинального напряжения;
- установка конденсаторных батарей у потребителя для снижения перетоков реактивной мощности;
- установка линейных вольтодобавочных трансформаторов для автоматического поддержания нормального уровня напряжения в линии.

Выбор способов увеличения пропускной способности необходимо проводить путем сравнения технико-экономических показателей для различных способов.

Литература

1. Любимов М.К., Мясников И.В., Потанин А.В Комплексная автоматизация участка воздушной электрической сети на базе реклоузеров // Masrer's Journal. 2014. №2. С. 158-162.
2. Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг (с изменениями на 4 сентября 2015 г.) №861: утвержден постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2004 г.
3. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения ГОСТ 32144-2013. М.: Стандартинформ, 2014. - 18с.
4. ПУЭ, 7-е издание. М.: НЦ ЭНАС, 2003. - 605с.
5. Шабад М.А. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле. М.: Энергопрогресс, 2003. - 66с.

*Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.; А.И. Петров, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Функционирование распределительных сетей 10 кВ характеризуется основными параметрами режима: токами по линиям электропередач, напряжениями в узлах сети, активной и реактивной мощностями электропередачи.

Важным технико-экономическим показателем эффективной работы электрической сети является уровень потерь электроэнергии в сети, которые зависят от указанных параметров режима.

Значения параметров режима постоянно изменяются во времени в соответствии с графиками электрических нагрузок подключенных потребителей. Поэтому оценка влияния параметров режима на потери в электрической сети является актуальной задачей.

Распределительные сети 10 кВ, эксплуатируемые энергоснабжающими организациями – районные электрические сети (РЭС), характеризуется значительными потерями электроэнергии, достигающих 30-60% от суммарных потерь по всей цепи.

Значительная часть потерь электроэнергии в сетях 10 кВ – это нагрузочные (переменные) потери в проводах воздушных линий и в обмотках трансформаторов потребительских трансформаторных подстанций – ТП 10/0,4 кВ. Это обусловлено особенностями построения, функционирования, организацией эксплуатации данного вида сетей: большим количеством элементов, разветвленностью схем, недостаточной обеспеченностью приборами учета, относительно малой загрузкой элементов.

В данной статье произведена оценка влияния на величину потерь электроэнергии таких параметров режима как U , K_{ϕ} , $\operatorname{tg} \varphi$.

Для оценки влияния параметров режима электрической сети 6-10 кВ на потери электроэнергии проведены расчеты, на базе существующей сети, обобщенных режимных коэффициентов, учитывающих влияние параметров режима на потери электроэнергии.

Нагрузочные потери электроэнергии в проводах воздушных линий ($\Delta W_{\text{л}}$) и обмотках силовых трансформаторов ($\Delta W_{\text{т}}$) определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{л}} &= \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) K_{\phi}^2}{U^2 T} \cdot R_{\text{эл}} \cdot W_{\text{от}}^2 \\ \Delta W_{\text{т}} &= \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) K_{\phi}^2}{U^2 T} \cdot R_{\text{эт}} \cdot W_{\text{от}}^2\end{aligned}\quad (1)$$

Где $W_{\text{от}}$ – величина отпуска активной электроэнергии в линии 10 кВ;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности нагрузки;

K_{ϕ} – коэффициент формы графика нагрузки;

U – напряжение;

T – расчетный период времени;

$R_{\text{эл}}$ – эквивалентное сопротивление линии;

$R_{\text{эт}}$ – эквивалентное сопротивление трансформатора.

Для оценки влияния основных параметров режима потери электроэнергии вводим показатель коэффициент режима – α .

$$a = \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) K_{\phi}^2}{U^2 T} \quad (2)$$

где a – коэффициент режима, зависящий только от основных параметров режима (U , $\operatorname{tg} \varphi$, K_{ϕ} , T).

Влияние параметров режима электрической сети на потери электроэнергии удобно оценивать с использованием показателя – отклонения коэффициента a от базисного значения:

$$\delta_a = \frac{a - a_{\delta}}{a_{\delta}} \cdot 100 = (a - 1) \cdot 100 \quad (3)$$

где δ_a – показатель отклонения, %; a_{δ} – базисный коэффициент режима; a – коэффициент режима, соответствующий определенному сочетанию параметров режима.

Коэффициент a_{δ} вычисляется по формуле (2) при параметрах режима, принятого за базисный.

При проведении оценки принят базисный режим, соответствующий средним расчетным значениям основных параметров, т.е.

$$U_{\delta} = U_c; \quad K_{\phi\delta} = K_{\phi c}; \quad \operatorname{tg} \delta \varphi = \operatorname{tg} \varphi_c.$$

Относительное значение коэффициента a рассчитывалось по эмпирической формуле [1].

$$a = \frac{a}{a_{\delta}} = \frac{(2,04 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot K_{\phi}^2}{3,04 \cdot U^2} \quad (4)$$

Относительные значения параметров режима определяются:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \delta \varphi}; \quad K_{\phi} = \frac{K_{\phi}}{K_{\phi\delta}}; \quad U = \frac{U}{U_{\delta}}$$

В таблице 1 приведены значения коэффициента δ_a при относительном изменении параметров режима (U , $\operatorname{tg} \varphi$, K_{ϕ}) в пределах соответствующих возможным реальным условиям эксплуатации сетей 6-10 кВ.

Таблица 1– значения коэффициента δ_a

Параметры режима		Показатель отклонения δ_a , %
Наименование	Значение	
U	0,9	23
	1,0	100
	1,1	-17
K ϕ	1,0	100
	1,1	21
	1,2	44

tgφ	0,7	-17
	0,8	-12
	0,9	-6
	1,0	100
	1,1	7

Из данных таблицы 1 следует, что наибольшее влияние на величину потерь оказывает напряжение.

Основные параметры режима при заданной электрической схеме ВЛ 10 кВ могут рассматриваться как неопределенные параметры. Для неопределенных параметров достоверно известны лишь области значений (максимальных и минимальных), в пределах которых они могут находиться.

В таблице 2 приведены минимальные и максимальные значения неопределенных параметров, полученных в результате анализа имеющейся информации по РЭС Смоленскэнерго, а также данным литературы по режимам распределительных электрических сетей.

Таблица 2 – Предельные значения параметров режима распределительной сети 10 кВ

Параметр	Пределы изменения	
	Максимальное значение	Минимальное значение
U, кВ	0,94	1,09
K _φ , отн. ед.	1	1,38
tgφ, отн. ед.	0,27	0,88
a _o , отн. ед.	0,58	1,84
δ _a , %	-42	84

Предельные значения коэффициента δ_a определяют область возможных погрешностей режимов потерь электроэнергии при исследовании средних значений параметров режима сетей.

Отклонение параметров режима электрической сети от средних значений приводит к значительным изменениям переменных потерь электроэнергии в ВЛ 10 кВ и ПС 10/0,4 кВ; так изменение напряжения на 10% приводит к снижению потерь на 17%, а увеличение коэффициента формы графика нагрузки и коэффициента мощности на 10% - к увеличению потерь соответственно на 2% и 7%.

Литература

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. — М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.: ил.
2. Костин. В. Н. Передача и распределение электроэнергии: учеб. пособие / В.Н. Костин. Е.В. Распопов. Е.А. Родченко. - СПб.: Изд-во СЗТУ. 2003 - 147 с.
3. Герасименко. А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко. В.Т. Федин. - Ростов-н/Д.: Феникс. 2006. - 720 с.

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ 10 КВ

Одной из основных задач электроэнергетики является обеспечение требуемого уровня надежности электроснабжения потребителей. Воздушные линии электропередачи являются конечным связующим звеном и обеспечивают непосредственную передачу электрической энергии потребителю. На надежность электроснабжения потребителей влияет особенность построения распределительных электрических сетей 10 кВ, длительность их эксплуатации и износ оборудования.

Наибольшее число внезапных отключений потребителей электрической энергии происходит из-за повреждений элементов на воздушных линиях (ВЛ) среднего напряжения 10 кВ. Электрические линии данного класса напряжения характеризуются большой протяженностью и разветвленностью, недостаточной оснащенностью коммутационными аппаратами (КА), ограниченностью материальных и трудовых ресурсов и пр. Основными причинами повреждений линий являются грозовые воздействия, загрязнение изоляции, вмешательство посторонних лиц. Статистические данные подтверждают высокую аварийность распределительных электрических линий: до 30 отключений на 100 км линий в год. [1]

Повышение надежности электроснабжения потребителей, подключенных к сетям 10 кВ, осуществляется внедрением автоматического управления защитой ВЛ. Распределительные электрические линии оснащаются коммутационными и защитными аппаратами, устройствами секционирования (АПВ – автоматическое повторное включение) и резервирования (местный и сетевой АВР). Автоматизация ВЛ является эффективным и широко применяемым методом повышения надежности электроснабжения. В результате применения автоматизации:

- уменьшается время ликвидации технологических нарушений;
- снижается недоотпуск электроэнергии при повреждениях ВЛ 10 кВ;
- сокращается время перерыва электроснабжения потребителей.

Для автоматизации распределительной сети на ВЛ устанавливаются вакуумные выключатели (реклоузеры) под управлением специализированных микропроцессоров. Установка реклоузеров обеспечивает децентрализованное управление автоматизированной электрической сетью. Среди достоинств децентрализованной системы автоматизации отмечают: возможность отключать только аварийный участок сети; информация о повреждении обрабатывается непосредственно в самом пункте без использования каналов связи; отсутствие координации из центра исключает влияние «человеческого фактора»; быстрое действие автоматики сокращает время перерывов электроснабжения до секунд; снижение риска материального ущерба потребителям.

Автоматизация распределительных электрических сетей 10 кВ приводит к необходимости решения следующих задач:

1. Выбор оптимального числа и мест установки КА на отдельных линиях и в распределительных электрических сетях в целом;
2. Выбор типа КА;
3. Оценка технического и экономического эффекта автоматизации распределительных сетей. [2]

Основной технико-экономический эффект от децентрализованной автоматизации распределительных электрических сетей на базе реклоузеров заключается в уменьшении времени аварийных и плановых отключений потребителей. Экономический эффект выражается в виде снижения ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям.

Для выбора и обоснования способов повышения надежности электрических сетей, проведения расчетов по определению их технических характеристик и оценки эффективности используются математические модели.

Оценка надежности элементов при отказах реализуется на основе следующих показателей:

- частота (средний параметр потока) отказов $\lambda(t)$, 1/год;
- среднее время восстановления τ , ч.

Недоотпуск электроэнергии $W_{н.л.}$ определяется для каждой ВЛ. При учете только аварийных устойчивых отключений линии (при неуспешных АПВ) годовой аварийный недоотпуск $W_{н.л.}$ рассчитывается по формуле:

$$W_{н.л.} = K_{в} \cdot \beta \cdot \lambda_{л} \cdot P_{отк} \cdot \tau_{л}, \quad (1)$$

где $K_{в}$ – коэффициент влияния системы автоматизации; β – вероятность отключения линии; $\lambda_{л}$ – частота отказов линии; $P_{отк}$ – средняя отключенная нагрузка потребителей, кВт/год; $\tau_{л}$ – среднее время восстановления линии.

Суммарная продолжительность аварийных отключений линии за год $T_{л}$ определяется:

$$T_{л} = K_{в} \cdot \lambda_{л} \cdot \tau_{л}, \quad (2)$$

Коэффициент влияния децентрализованной системы автоматизации на общее время восстановления электроснабжения $K_{в}$ вводится при проведении расчетов по оценке эффективности автоматизации ВЛ для количественной оценки изменения времени восстановления линии после устойчивого повреждения.

Вероятность отключения отдельной линии β определяется как математическое ожидание с учетом того, что отключение произошло из-за повреждения конкретного участка ВЛ. Вероятность β_i определяется

$$\beta_i = \frac{L_i}{L}, \quad (3)$$

где L_i – длина i -того участка линии, км; L – длина всей линии, км.

Для сравнения величины недоотпуска электроэнергии исходной и автоматизированной электрических схем ВЛ используются относительные коэффициенты эффективности:

- по недоотпуску электроэнергии $\Delta W_{\text{отн}}$, о.ед.;
- по времени отключения потребителей $T_{\text{отн}}$.

Коэффициенты сравнительной эффективности по недоотпуску электроэнергии и времени отключения определяются по выражениям (4) и (5) соответственно:

$$\Delta W_{\text{отн}} = \frac{W_{\text{н}} - W_{\text{н.авт}}}{W_{\text{н}}}, \quad (4)$$

$$T_{\text{отн}} = \frac{T_{\text{л}} - T_{\text{л.авт}}}{T_{\text{л}}}, \quad (5)$$

где показатели $W_{\text{н}}$ и $T_{\text{л}}$ относятся к базовой схеме (до автоматизации), $W_{\text{н.авт}}$ и $T_{\text{л.авт}}$ — к схеме ВЛ после автоматизации. [3]

Для оценки эффективности повышения надежности распределительной линии 10 кВ при применении автоматизированной децентрализации был проведен расчет одной из действующих ВЛ 10 кВ. В 2014 году в целях модернизации и автоматизации на линии 10 кВ установили два реклоузера.

Рассматриваемая ВЛ построена по магистральной схеме с глухими ответвлениями от магистрали к потребительским ПС 10/0,4 кВ. Общая протяженность линии составляет 14,64 км с подключением 15 потребительских ПС суммарной мощностью 1190 кВ·А. Потребители, подключенные к линии, являются объектами бытового сектора. Магистральный участок линии, длиной 9,83 км, выполнен проводами марки АС-35, АС-50, АС-70. Длина линии с проводами СИП-3 составляет всего 4,16 км.

При анализе электрической схемы ВЛ выявлено, что до установки реклоузеров отказ любого из элементов линии сопровождался ее полным погашением. При наличии секционирующих устройств в результате успешного срабатывания АПВ головного выключателя часть линии до реклоузера останется в рабочем состоянии под напряжением, а часть линии за местом его установки будет отключена. Величина недоотпуска электрической энергии и время длительности ремонта уменьшаются из-за сокращения зоны поиска места повреждения.

Для определения величины недоотпуска электроэнергии при отключениях ВЛ учитывается конфигурация электрической сети и распределение мощности потребителей по ее длине. Показатели надежности зависят от технического состояния электрической сети, поэтому необходимо учитывать выборки отключений конкретных линий. Расчет произведен на основе сбора статистических данных о повреждениях ВЛ 10 кВ за период с 2012 по 2016 год. В результате получены следующие значения удельных показателей:

- удельная частота отказов линии $\lambda_{\text{до}} = 0,21 [1/\text{км} \cdot \text{год}]$;
- среднее время восстановления линии $\tau_{\text{л}} = 2,05 \text{ ч}$.

Расчет недоотпуска электрической энергии выполнен для двух случаев: до и после установки секционирующих устройств. Результат проделанной работы представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета до и после установки реклоузеров

	Недоотпуск $W_{\text{н}}, [\text{кВт} \cdot \text{ч}]$	Продолжительность от- ключений $T_{\text{д}}, \text{ч}$
до	19607,2	18,3
после	2695,7	8,05

Коэффициенты сравнительной эффективности, рассчитанные по формулам (4) и (5), имеют следующее значение: $\Delta W_{\text{отн}} = 93\%$ и $T_{\text{отн}} = 56\%$. Анализ рассчитанных показателей свидетельствует, что применение децентрализованной автоматизации позволило уменьшить величину недоотпуска электроэнергии в 7 раз, а продолжительность отключений потребителей – в 2 раза. Коэффициенты сравнительной эффективности подтверждают снижение величины годового недоотпуска на 93% и сокращение продолжительности суммарного времени отключения линии за год 56%.

Децентрализованная автоматизированная система создает управляемую электрическую сеть, значительно повышая уровень надежности электрических линий. Установка реклоузеров на ВЛ способствует увеличению значений показателей надежности, сокращает материальные затраты, связанные с недоотпуском электроэнергии, уменьшает время отключения потребителей.

Литература

1. Боков Г.И. Техническое перевооружение российских электрических сетей. – Новости электротехники, №4 (76), 2012.
2. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе / Совет директоров ОАО «РОССЕТИ» (протокол от 23.10.2013 № 138). Москва, 2013. – 196 с.
3. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей. – Ростов-на-Дону: «Терра Принт», 2009. – 132 с.

*Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.; А.О. Рыбников, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 КВ

Обеспечение современного уровня качества функционирования распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ возможно при выполнении комплекса технических мероприятий по совершенствованию, модернизации электрооборудования трансформаторных подстанций линий электропередачи, схемных решений, устройств регулирования параметров работы сетей.

Одним из перспективных направлений развития и совершенствования распределительных электрических сетей 10 кВ сельских территорий является установка батарей статических конденсаторов (БСК) на потребительских трансформаторных подстанциях (ТП) для снижения нагрузочных потерь электроэнергии в проводах питающих воздушных линий (ВЛ) 10 кВ и обмотках силовых трансформаторов 10/0,4 кВ. (1)

В статье изложены основные результаты исследования вопросов применения БСК в распределительных сетях, проведенного на примере реальной электрической сети 10 кВ подстанции ПС 35/10 кВ Смоленскэнерго.

При проведении исследований использована следующая исходная информация:

- электрические схемы ВЛ 10 кВ с указанием марки, сечения и длины проводов по участкам линий, точек подключения и номинальных мощностей трансформаторов потребительских ТП 10/0,4 кВ;

- протоколы записей показаний счетчиков активной и реактивной электроэнергии ВЛ в режимных сутках летнего минимума и зимнего максимума нагрузки, акты баланса электропотребления ПС за пять лет эксплуатации.

Распределительная электрическая сеть 10 кВ двухтрансформаторной ПС состоит из семи ВЛ 10 кВ суммарной протяженностью 129,9 км, к которым подключено 68 потребительских ТП 10/0,4 кВ суммарной номинальной мощностью силовых трансформаторов 1460 кВА.

В результате обработки протоколов показаний электросчетчиков и актов балансов электропотребления были рассчитаны средние значения показателей режимов электропотребления за рассматриваемый период времени по каждой ВЛ [табл.1]:

- число часов использования максимальной нагрузки, T_m ;
- коэффициент формы годовых графиков электрической нагрузки, K_ϕ ;
- время потерь, τ ;
- годовой отпуск электроэнергии в ВЛ, $W_{отп}$;
- коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,85$.

Таблица 1 – Показатели режимов электропотребления

№ ВЛ	Время ч/год		Коэффициент формы K_ϕ	$W_{отп}$, кВт×ч
	T_m	τ		
1	3956	2506	1,19	60720
2	3620	2202	1,21	237640
3	2426	1257	1,37	31660
4	3711	2288	1,21	44561
5	2000	1009	1,44	460000
6	1356	593	1,68	25000
7	6242	5051	1,06	61500
Всего	—	—	—	921081

Переменные потери электроэнергии в линиях и трансформаторах ΔW при заданной электрической схеме ВЛ 10 кВ и режиме потребления с показателями электропотребления из таблицы 1 определяются по формулам[2]:

$$\Delta W = \frac{W_{отп}^2 (1 + tg^2 \varphi) K_\phi^2 R_\Sigma}{U_n^2 T}, \quad (1)$$

$$\Delta W = \frac{W_{отп}^2 (1 + tg^2 \varphi) \tau R_\Sigma}{U_n^2 T_m^2}. \quad (2)$$

где R_Σ – эквивалентное сопротивление линий и трансформаторов электрической сети, U_n – номинальное напряжение сети.

Для снижения суммарных потерь электроэнергии была предусмотрена установка БСК на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ, мощность которых выбиралась исходя из условия повышения коэффициентов мощности нагрузки до значения, равного 0,95.

Величина снижения потерь электроэнергии рассчитывается по формуле[3]:

$$\delta \Delta W = \Delta W_0 - \Delta W_{\text{БСК}},$$

где ΔW_0 – потери электроэнергии до установки БСК, $\Delta W_{\text{БСК}}$ – потери электроэнергии после установки БСК.

В таблице 2 приведены расчетные значения:

- Суммарных номинальных (установленных) мощностей БСК, $Q_{\text{БСК}}$;
- Величины снижения суммарных потерь электроэнергии в сети 10 кВ ПС при установке БСК, ΔW .

Таблица 2 - Расчетные значения суммарной номинальной мощности БСК и величины снижения потерь электроэнергии

№ ВЛ	ΔW , кВт×ч	$Q_{\text{БСК}}$, квар
1	2773	87
2	33861	232
3	438	44
4	636	44
5	56458	261
6	1681	58
7	1013	29
Всего по ПС	96860	755

Из данных табл. 2 следует, что применение БСК в электрической сети 10 кВ ПС приводит к снижению потерь электроэнергии на 96,86 тысяч кВт×ч в год, что составляет примерно 10% от отпуска электроэнергии в сеть, удельное снижение потерь электроэнергии на 10 км ВЛ равно примерно 750 кВт×ч в год.

Требуемая мощность БСК по ПС составляет 754 квар. Эта мощность может быть распределена между ТП 10/0,4 кВ пропорционально номинальным мощностям трансформаторов или пропорционально расчетной нагрузке потребителей, подключенных к ТП.

Для повышения эффективности применения БСК, выбора оптимальных мощностей и точек подключения БСК в электрической сети необходимо проведение дополнительных технико-экономических расчетов.

Литература

1. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий — Издательство Томского политехнического университета, 2012. —234с.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов — М.: ЭНАС, 2009. — 456с.
3. Шведов Г.В., Сипачёва О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчёт, анализ, нормирование и снижение — издательский дом МЭИ, 2012—424с.

*Т.И. Дубровская, вед.инж., А.Д. Глазунова студ.,
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Выбор материала для опор воздушных линий (ВЛ) определяется требованиями к их надежности, технологиям их изготовления и монтажа, а также стоимостью исходных материалов. В определенной степени выбор опор зависит также от режима работы электрической сети. Так, если в сетях 6–10 кВ в России используется система с изолированной нейтралью, то в зарубежных странах эти сети работают, как правило, с заземленной нейтралью. Способ заземления нейтрали в свою очередь определяется конфигурацией сети и существенно влияет на ее надежность и выбор конструкции ВЛ.

За рубежом для линий классов напряжений 0,4–35 кВ используют преимущественно деревянные опоры или деревянные траверсы, установленные на железобетонных опорах.



Рис. 1. Деревянная А-образная опора (Канада).



Рис. 2. Деревянная опора со столбовой ТП (США).

Например, в Париже, в двух кварталах от Эйфелевой башни, установлены деревянные опоры, надёжность которых ни у кого не вызывает сомнений. В Латвии деревянные опоры эксплуатируются по сто лет и более. От Финляндии с её суровым северным климатом и до Греции с более теплым климатом применяются преимущественно деревянные опоры, в то время как железобетонные опоры не находят широкого применения. Причём в Финляндии железобетонные опоры вообще не применяются и, мало того, деревянные опоры применяются даже в линиях 110 кВ. Качество деревянных опор в Финляндии регулируется финским стандартом SFS 2662.

В Великобритании, странах Скандинавии и других европейских государствах, в США и Канаде введены национальные стандарты на деревянные опоры для линий электропередачи.

В результате анализа зарубежного и отечественного опыта применения различных типов опор, специалистами ОАО «ФСК ЕЭС» было принято решение о преимущественном использовании деревянных пропитанных опор в распределительных сетях напряжением 0,4-10кВ. Этот факт нашел отражение в официальном документе «Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе».[1] В нем рекомендуется при техническом перевооружении, реконструкции и новом строительстве ВЛ 0,4-20 кВ применять деревянные опоры без приставок с пропиткой консервантом.

В интервью [2] Владимир Иванович Соколов, главный инженер ОАО «Северо-Западный Энергетический Инжиниринговый Центр» сказал: «Деревянная опора, при условии хорошей пропитки, вполне может заменить любую другую. Имеется хорошая перспектива возвращения к установке опор линий электропередач, изготовленных из дерева, которые гораздо экологичнее любых других опор».

В России сырьём для изготовления опор является сосна обыкновенная не ниже 1-го сорта по ГОСТ 9463-88, заготовленная в осенне- зимний период из комлевой части растущих деревьев. Регион произрастания – не ниже 58° северной широты.

Сосна создана природой как идеальная заготовка для столба – длинный стройный ствол и только где-то вверху начинаются сучки. Кроме того, ствол сосны состоит из двух слоев – так называемой сердцевины и внешнего слоя – заболони. Сердцевина вся пропитана естественным консервантом – смолой и таким образом защищена от гниения. Сосна легко пропитывается антисептиком, в результате получается прекрасно защищенная опора.

Пропиточные материалы — водорастворимый антисептик семейства ССА(С – Cuprum (медь), С – Cr (хром), А – Arsenum (мышьяк)). Процесс пропитки выглядит так: в автоклаве высокого давления способом вакуум-давление-вакуум по ГОСТ 20022.6-S3. Влажность древесины перед пропиткой – не более 30%.

Все компоненты антисептика прочно фиксируются в структуре древесины, не испаряются, практически не вымываются водой и обеспечивают длительный срок службы опор, который в среднем составляет 40 лет. Это подтверждается многочисленными исследованиями, проводившимися в независимых лабораториях.

Отметим несколько главных достоинств деревянных опор:

- Надежность в эксплуатации.
- Экономичность. Расчеты, в которых сравнивались опоры из разных материалов, показали, что для большинства ВЛ опоры из пропитанной древесины оказываются самым выгодным решением, так как древесина – наиболее распространённый материал, лёгкий в эксплуатации.

- Долговечность. Реальная долговечность пропитанных деревянных опор значительно больше принимаемой в расчетах. При надлежащем обслуживании типовая деревянная опора может прослужить до 50 лет и более, а в среднем за 10 лет замена на новые опоры по необходимости составляет менее 4%.

- Отличные физические свойства. Естественная упругость древесины позволяет выдерживать нагрузки, разрушительные для более хрупких материалов. Благодаря низкому коэффициенту теплового расширения и низкой электрической проводимости деревянная опора ВЛ является температурно-стабильной конструкцией и требует меньше изоляции. Древесина не подвержена коррозии, не крошится, антисептики защищают ее от грибков и термитов.

- Простой подъем на опору. В случае, когда автокран не может подъехать к опоре, монтер легко поднимается на нее с помощью простых приспособлений.

- Эстетичность. Большинство потребителей предпочитают видеть природные материалы в естественном окружении. Естественный вид древесины делает деревянные опоры идеальным выбором.

- Неприхотливость. Деревянные опоры не требуют бережного обращения, без повреждений переносят механические перегрузки и не слишком аккуратное обращение при погрузке, разгрузке, складировании. Зазубрины на поверхности безопасны для деревянных опор.

- Простота обслуживания и модификации. Периодический осмотр и дополнительная пропитка – широко распространенная практика, продлевающая на десятилетия срок службы деревянных опор. Большинство способов оздоровления опор просты. Не представляют сложности и работы по модификации опоры.

- Возобновляемость ресурсов. Выращивание лесов, дающих сырье для опор, не требует больших затрат.

При сравнении с железобетонными опорами и деревянными опорами на железобетонных приставках деревянные опоры, устанавливаемые непосредственно в грунт, имеют ряд следующих преимуществ:

- деревянные опоры не ломаются при серьёзных ветровых и гололёдных нагрузках(сосновый столб выдерживает в 1,5-2 раза большие нагрузки на изгиб, чем его железобетонный аналог);

- опоры довольно лёгкие(сосновый столб в 3 раза легче железобетонной опоры), что приводит к значительному сокращению затрат на транспортировку и установку. Их можно монтировать без применения специальной техники;

- отсутствие «эффекта домино» на ВЛ с деревянными опорами. Тяжёлая железобетонная опора с закреплёнными на ней проводами, падая, увлекает за собой соседние опоры, что приводит к увеличению времени аварийного отключения потребителей;

- нормативный срок эксплуатации железобетонных опор и опор на железобетонных приставках — 25 лет, а качественно пропитанных деревянных опор — 40 лет. К применению рекомендуются деревянные опоры, пропитанные консервантами семейства ССА способом по ГОСТ 20022.6-93 (вакуум-давление-вакуум). При этом поверхность древесины, пропитанная

ССА-составом, остаётся сухой, не пачкается, не имеет запаха, безопасна для человека;

- деревянная опора обеспечивает значительное изоляционное расстояние с точки зрения импульсных перенапряжений (грозоупорности), может гасить силовую дугу перекрытия и обеспечивает высокое сопротивление цепи замыкания на землю. Эти свойства приводят к снижению токов утечки и используются для снижения числа грозových отключений ВЛ и обеспечения безопасности. Высокое сопротивление деревянной опоры и переходное сопротивление при прикосновении человека к опоре с повреждённой изоляцией ограничивают протекание тока через человека значениями, не представляющими опасности для жизни;

- деревянная опора обеспечивает достаточно лёгкий и простой монтаж на скальных грунтах, сохраняя высокую прочность закрепления опоры. При этом сохраняется надёжность линии;

- деревянная опора обеспечивает высокую ремонтпригодность линий, в том числе позволяет производить ремонт опоры без её замены. [3]

Несмотря на перечисленные преимущества деревянных опор, в России широко применяются именно железобетонные опоры. Причина этому – нерешенность вопроса – как изготовить хорошую пропитанную деревянную опору. В советское время технология зачастую приносилась в жертву плану. В те годы опоры пропитывались креозотом и преимущественно «с колёс». А пропитка влажной древесины приводила к тому, что пропитывался лишь тонкий наружный слой дерева. Наличие влаги внутри опоры приводило к тому, что начиналось гниение опоры изнутри и через несколько лет она превращалась в подобие тонкостенной трубы. Из-за этого опоры разрушались, часто во время работы на них людей.

Так же, пропитанные креозотом опоры имеют резкий неприятный запах, креозот является канцерогенным веществом. Обслуживающий их персонал подвергается риску различных кожных заболеваний. После контакта с опорой невозможно отстирать спецодежду от креозота.

В отличие от России, в других странах повсеместно продолжают использовать деревянные опоры не только на временной, но и на постоянной основе. По нашему мнению, это связано с тем, что в этих странах (как и у нас) большой процент территории занят лесами, так что древесина – доступный и относительно недорогой продукт, что позволяет использовать его повсеместно.

Внедрение деревянных пропитанных опор в практику идет довольно медленно, чему есть несколько причин.

Во-первых, длительный период массового применения железобетонных опор привел к тому, что в последние десятилетия в недостаточном количестве разрабатывались типовые проекты и проекты повторного применения ВЛ на деревянных опорах.

Во-вторых, серьезной причиной является также отсутствие стандарта на деревянные пропитанные опоры. В этом наша страна отстает от Великобритании, стран Европы, Скандинавии, США в которых данные стандарты давно введены и успешно действуют. В российских стандартах упоминание о дере-

вянных опорах для линий электропередачи можно найти в ГОСТ 9463-88 «Лесоматериалы круглые хвойных пород», ГОСТ 20022.0-93 «Защита древесины. Параметры защищенности» и СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции». В первом документе определяются требования к древесному сырью, используемому для изготовления деревянных опор, во втором даются нормы по пропитке древесины, в третьем приводятся прочностные характеристики древесины, которые необходимо использовать при расчетах деревянных опор.

Отсутствие стандартана опоры линий электропередачи приводит к тому, что предприятия – изготовители опор, работают по собственным техническим условиям, которые, как это часто бывает, написаны так, чтобы было удобно производителю. Примеры несоответствия технических условий производителя требованиям ГОСТ 20022.0-93 можно найти, можно найти в соответствующей литературе.

Для ускорения внедрения деревянных пропитанных опор в практику и повышения качества данного вида продукции, на наш взгляд необходимо создавать нормативную базу, а именно отраслевой стандарт на деревянные пропитанные опоры. Наличие такого документа позволит установить единые требования для всех производителей и создаст условия для производства продукта нормированного качества.

Л и т е р а т у р а

1.Положение ОАО «РОССЕТИ» О единой технической политике в электросетевом комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети» (протокол № 138 от 23.10.2013) Москва, 2013 г.-196 с.

2.В.И. Соколов. Об опорах и не только. Разговор со специалистом.// Журнал Энергетический рынок №4(58) 2014.

3.Н. Бирюкова «Опоры для воздушных линий 0,4-10 кВ. Мнение эксплуатационника» Новости электро-техники №6(24), 2003г.

*Т.И. Дубровская, вед. инж., А.С. Шабанов, студ. В.Д. Горячев, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР

Обычно при проектировании воздушных линий электропередач (здесь и дальше –ВЛ) 110 кВ применяются металлические башенные опоры, представляющие четырехгранные конструкции, имеющие пояса и решетки из прокатных уголков (рис.1). Это типовые унифицированные опоры, которые имеются в любом справочнике по высоковольтному электрооборудованию. Основное преимущество типовых опор это простота технологии их изготовления. Впрочем, типовые опоры имеют и свои «минусы»:

– большие трудовые затраты на полную сборку опор и понижение производительности загрузки грузового транспорта при перевозке секций впоследствии укрупнительной сборки;

– существенные издержки на изготовление фундаментов;

– низкая устойчивость опор к пучениям, и сложность укрепления опор в "слабых" и заболоченных грунтах. Для удержания опоры в таком грунте нужно значительноувеличить вес свайных оснований с целью уменьшения выдергивающих усилий.

Фирма «ЭЛСИ» разработала инновационные конструкции металлических опор линий электропередач (рис.2-3) для ВЛ 110 кВ из гнутых стальных профилей переменного по высоте сечения. Эти конструкции лишены указанных выше недостатков.

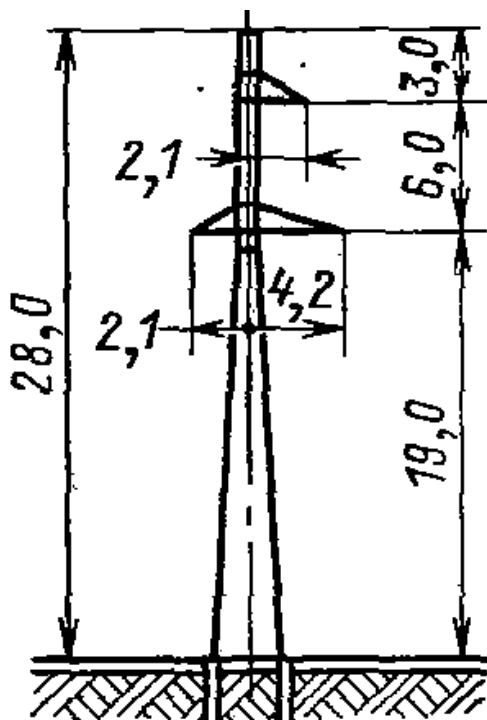


Рис. 1 Металлическая решетчатая опора типа П110-5

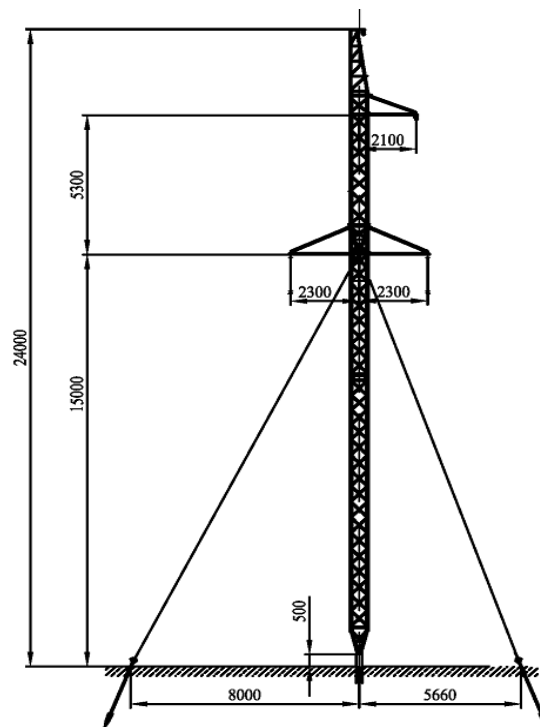


Рис.2 Опора промежуточная на оттяжках из гнутого профиля марки ПО110П

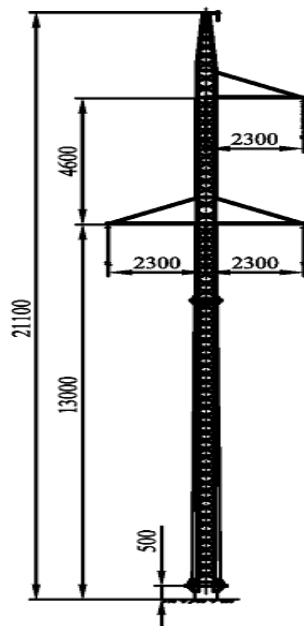


Рис. 3. Опора промежуточная свободно стоящая из гнутого профиля марки ПС110П

Опоры типа ПО110П имеют тросовые оттяжки. Основные достоинства опор этого типа следующие:

- относительно небольшой вес опоры – 860 кг;
- при установке опор используется поверхностный фундамент;
- подъем опоры в рабочее положение возможен ручной лебедкой.

Опоры этого типа незаменимыми при ликвидации аварий, связанных с падением опор.

Опоры типа ПС110П – это свободностоящие опоры и выполнены на основе одной базовой стойки. Стойка опоры является модификацией стойки конической многогранной опоры типа ПМО. Она выполнена в виде четырех несущих поясов, представляющих собой полуразогнутые швеллеры переменного по высоте опоры. Такая конструкция дает возможность оптимально использовать механические свойства стали. Вес опоры уменьшается без снижения ее несущей способности (рис. 4).

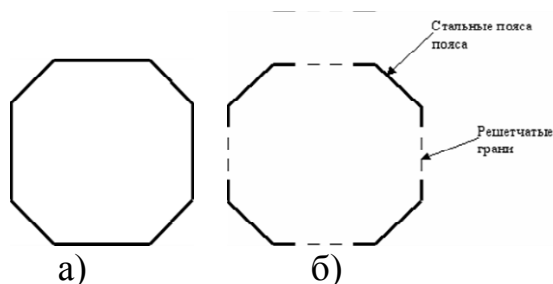


Рис. 4 Сечения поясов опор разного типа (а)–многогранной опоры, б)– опоры ГК ЭЛСИ).

Цель данного исследования состоит в сравнении эффективности использования на ВЛ 110 кВ опор различного конструктивного исполнения.

Проведем обоснование применения новых конструкций при строительстве ВЛ 110 кВ для уменьшения издержек на сооружение, сроков строительства не уменьшая надежности эксплуатации электропередачи.

Стоимость строительства и ресурсоемкость ВЛ 110кВ существенно зависят от всевозможных коэффициентов, таких как–коэффициенты надежности по ответственности, региональные коэффициенты по ветровым и гололедным нагрузкам и т.п.[1]. Определим физические объемы работ при сооружении 1 км ВЛ 110 кВ на опорах разного конструктивного исполнения для следующих исходных данных:

- Район по ветровому давлению II, район по толщине стенки гололеда II, провод АС120/19.
- Фундамент опоры П110-5 выполнен на 4 железобетонных сваях С35-1-8-0; фундамент опоры ПС110 П– из стальной трубы диаметром 530 мм, длиной 4 метра и толщиной стенки трубы 12 мм.
- Коэффициенты надежности по ответственности и региональные коэффициенты для ветровых и гололедных нагрузок условно приняты равными 1,0.

Количество промежуточных опор необходимых для строительства 1 км линии определялось из длины габаритного пролета, при этом его длина для каждой опоры определялась исходя из температурных условий(табл.1), ветровых и гололедных нагрузок, длины поддерживающей гирлянды(1,5 м) и тяжения, приходящегося на провод.

$$N=1000/L,$$

где N–число промежуточных опор на рассматриваемом участке;

L– длина пролета, которая соответствует типу опоры и климатическим условиям.

Таблица 1–Климатические параметры

Наименование параметра	Значение
Коэффициенты расчетных нагрузок для заданного района	1,0
Максимальная температура	35°C
Минимальная температура	–35°C
Среднегодовая температура	5°C

Габаритная длина пролета для рассматриваемых опор взята из каталожных данных, и равна:

- для опоры П110-5– 300 м;
- для опоры ПС110П–275 м;
- для опоры ПО110П–230 м.

Вес опор и фундамента в соответствии с данными справочной литературы и технической документации группы компаний «ЭЛСИ» представлены в табл.2.

Таблица 2 – Каталожные данные веса конструкций

Параметр/тип опоры	П110–5	ПС110П	ПО110П
Вес опоры (G_o), т	2,61	1,33	0,86
Вес фундамента(G_{ϕ}), т	9,69	0,61	2,23
Пролет (L), м	300	275	230

Сравнивая показатели эффективности применения опор разного конструктивного исполнения, в качестве базового варианта примем вариант сооружения линии электропередачи на типовых унифицированных опорах П110-5.

В табл.3 приведены физические объемы работ при монтаже опор и фундаментов одноцепной ВЛ 110 кВ на типовых стальных опорах башенного типа П110-5 и опорах нового поколения типа ПС110П и ПО110П.

Показатели 5,6,7 табл.3 определяются согласно [1].

Таблица3–Физические объемы работ при строительстве 1 км ВЛ на стальных опорах ВЛ различного типа

Показатель	П110-5	ПС110П	Разница	ПО110П	Разница
1. Количество опор, (N)шт.	3,3	3,6	- 10 %	4,3	- 30 %
2. Вес опор, т	8,6	4,8	в 1,8	3,7	в 2,3
3. Вес фундаментов, т	32	2,2	в 14,5	9,6	в 3,3
4. Итого вес конструкций, т	40,6	7,0	в 5,8	13,3	в 3
5. Объем земляных работ, м ³	13,3	3,3	в 4	9,6	в 1,4
6. Перевозки по ж.д., вагонов	1,0	0,6	в 1,7	0,3	в 3,3
7. Перевозки а/м, рейсы	10	1,2	в 8,3	0,9	в 11

В настоящее время при электроснабжении объектов различного назначения довольно остро стоят проблемы ресурсосбережения, экологии и повышения надежности эксплуатации ВЛ 110 кВ. Учитывая эти факторы, можно дополнительно отметить следующие преимущества опор нового поколения:

- Имеется существенная экономия ресурсов. Внедрение при сооружении ВЛ 110 кВ стальных многогранных облегченных опор позволяет получить значительную экономию следующих ресурсов: материалы и конструкции; транспортные перевозки; время строительства ВЛ и работы транспортных и строительно-монтажных механизмов; трудозатраты.

- Возрастает эксплуатационная надежность воздушных линий. Конструкции опор обладают большой гибкостью. Это позволяет им воспринимать динамические нагрузки, которые возникают при пляске проводов, сбросе гололеда и сейсмических влияниях, не разрушаясь. Количество грозových ударов молнии в конструкции ВЛ, выполненных на опорах традиционных видов выше по сравнению с ВЛ, использующих опоры конструкции «ЭЛСИ».

- Наблюдается меньшее влияние на экологию окружающей среды. Внедрение инновационных конструкций опор требует существенно малого объема строительных материалов и строительно-монтажных работ и приводит к:

- сокращению воздействия человека на окружающую природную среду в связи со снижением расхода не восполняемых природных ресурсов, таких как, железо, ГСМ и т.д.;

- уменьшению повреждения почвенного покрова, который трудно восстанавливается т.к. Объем земляных работ сокращается и уменьшается воздействие на поверхность почвы транспортных машин и строительно-монтажных механизмов.

Опоры из гнутого профиля марок ПС110П и ПО110П занимают малую площадь, легко транспортируются и монтируются в стесненных условиях, хорошо вписываются в городскую архитектуру.

Опоры группы компаний "ЭЛСИ" широко внедряются в электрические сети России. С применением этих опор построено более 17 тыс. км линий электропередач, в том числе 35-110 кВ более 3 тыс. км.

С использованием опор ПС110П в условиях городской и промышленной застройки построены такие электропередачи, как: ВЛ 110 кВ "ТЭЦ-1 – Портювая", г. Казань и ВЛ 110 кВ "Портювая – Кремлевская", г. Казань.

Таким образом, строительство ВЛ 110 кВ с использованием опор ПО110П и ПС110П значительно сокращает потребление целого ряда ресурсов, таких как: материальные ресурсы (опоры и фундаменты); трудозатраты; работа машин и механизмов; капитальные вложения; время строительства; финансовые затраты, т.к. расчеты показали, что стоимость строительства примерно на 10 - 30% ниже (в зависимости от климатических условий трассы и типа опор).

Л и т е р а т у р а

1. СТО 56947007-29.240.55.096-2011 Методические указания по оценке эффективности применения стальных многогранных опор и фундаментов для вл напряжением 35-500 кВ АО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы» (ОАО «ФСК ЕЭС»). 2011. Дата введения: 2011-07-01. 56 стр.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Прошло уже более десяти лет после вступления в силу федерального закона "Об электроэнергетике" [1], в корне изменившего организацию работы и взаимоотношения предприятий электроэнергетического комплекса России. На смену вертикально интегрированным компаниям, объединявшим весь комплекс услуг по производству, передаче, распределению и сбыту электроэнергии, пришли новые субъекты электроэнергетики с искусственно ограниченными функциями в рамках введения новых экономических отношений. Эти отношения определили сферы производства и сбыта электроэнергии как рыночные, а её передачу и распределение оставили под полным государственным регулированием. Конечно и на рынке электроэнергии государство сохранило свое определенное влияние в плане выработки норм и правил его функционирования и участия своих представителей в работе руководящих органов оптового рынка электрической энергии и мощности.

На рис.1 представлены главные составляющие государственного регулирования электроэнергетики, определяющие его необходимость с точки зрения энергетической, экономической, экологической безопасности и социальной стабильности государства.



Рисунок 1 - Основные составляющие необходимости государственного регулирования электроэнергетики

Рассмотрим главные составляющие государственного регулирования электроэнергетики более подробно.

1) Рациональное расходование природных ресурсов необходимо для целей перспективного и гармоничного развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства.

2) Электросетевые энергетические предприятия являются естественными монополиями, а электроэнергия является товаром, который, как правило, не может быть заменен другим видом товаров, что требует использования антимонопольного законодательства.

3) Обеспечение государственных стандартов качества электроэнергии, норм и правил функционирования электроэнергетического оборудования необходимо для надежного электроснабжения энергетических объектов, потребителей, электрического освещения и бытовой техники.

4) Необходимо учитывать и уникальный статус электроэнергетики, т.к. электроэнергетические предприятия обеспечивают всех потребителей на обслуживаемой ими территории.

5) Соблюдение баланса интересов между энергетическими компаниями и потребителями важно для поддержания социальной стабильности и реализации комплексных программ социально-экономического развития, рассчитанных на длительную перспективу.

6) Обеспечение экологической безопасности функционирования предприятий электроэнергетики связано с их непосредственным и значительным влиянием на окружающую среду. Эти задачи регулируются различными межгосударственными соглашениями, федеральными законами, техническими регламентами и другими нормативными документами.

7) Стимулирование эффективности производства в энергокомплексах также является неотъемлемой составляющей государственного регулирования.

Рассмотрим как эта задача решается для оценки и стимулирования работы предприятий распределительных электрических сетей.

Современные электросетевые предприятия (ЭСП) реализуют две основные функции:

- выполняют передачу и распределение электрической энергии;
- осуществляют технологическое присоединение электрооборудования потребителей к электрическим сетям.

Обе функции регулируются государством путём установления соответствующих тарифов на услуги по передаче электрической энергии с учетом нормируемых технологических потерь, которые колеблются в пределах 5-15 % от объема электроэнергии, поступившей в сеть, а также платы за услуги технологического присоединения к электрической сети.

Помимо основных функций ЭСП могут оказывать ряд дополнительных услуг, не связанных с её основными функциями:

- обслуживание и ремонт электрических сетей и электрооборудования;
- переоборудование электросетевых объектов в интересах потребителей;
- обслуживание и развитие сетей наружного освещения;
- предоставление технических ресурсов;
- установка и замена приборов учета;
- энергоаудит и энергосервис;

- проектирование строительство объектов энергетики;
- испытание и диагностика оборудования.

Таким образом основной целью деятельности работы электросетевого предприятия является долгосрочное обеспечение надежного, качественного и доступного электроснабжения потребителей. Для этого должна быть организована эффективная и соответствующая отраслевым стандартам сетевая инфраструктура.

Для оценки эффективности функционирования ЭСП в настоящее время используется ряд ключевых показателей, которые представлены в виде блок-схемы на рис.2.

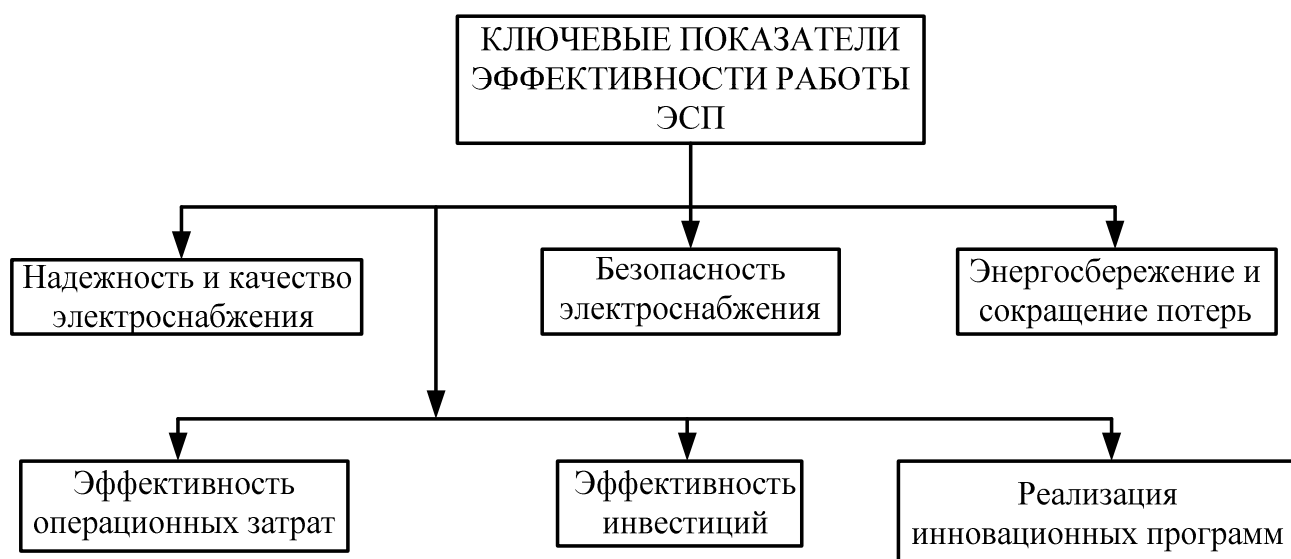


Рисунок 2 - Ключевые показатели эффективности работы ЭСП

Показатели безопасности электроснабжения используются для оценки рисков возникновения травматизма персонала и сторонних лиц на объекта ЭСП с целью снижения количества несчастных случаев.

Показатели эффективности энергосбережения и сокращения потерь электроэнергии применяются для оценки результатов реализации программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Оценка эффективности операционных затрат связана с их оптимизацией на ремонты, эксплуатацию, оперативно-технологической управление и т.д.

Оценка эффективности инвестиций направлена на повышение результативности и увеличение удельной составляющей инвестиций, оптимизацию проектных решений, увеличение загрузки вводимых мощностей, повышение прозрачности и эффективности процесса закупок.

Показатели реализации инновационных программ оценивают увеличение затрат на научные исследования, внедрение нового оборудования и технологий, повышение квалификации и профессиональной подготовки персонала.

Показатели надежности и качества услуг, оказываемых ЭСП, определяются нормативными документами [2,3,4], в которых даны порядок и методика их расчета и применения. При этом плановые значения показателей эффективности устанавливаются на каждый расчетный период регулирования, а их фактические значения определяются по окончании каждого периода регулирования и подлежат опубликованию до 1 июня. В качестве иллюстрации их расчета и использования следует отметить результаты, опубликованные авторами в работе [6], где рассмотрены примеры оценки различных показателей надежности электрообеспечения потребителей, качества оказываемых услуг и потерь электроэнергии.

Различные показатели по планированию инвестиционных проектов в ОАО "МРСК Центра" иллюстрирует рис.3, построенный по материалам отчета о деятельности компании [5].

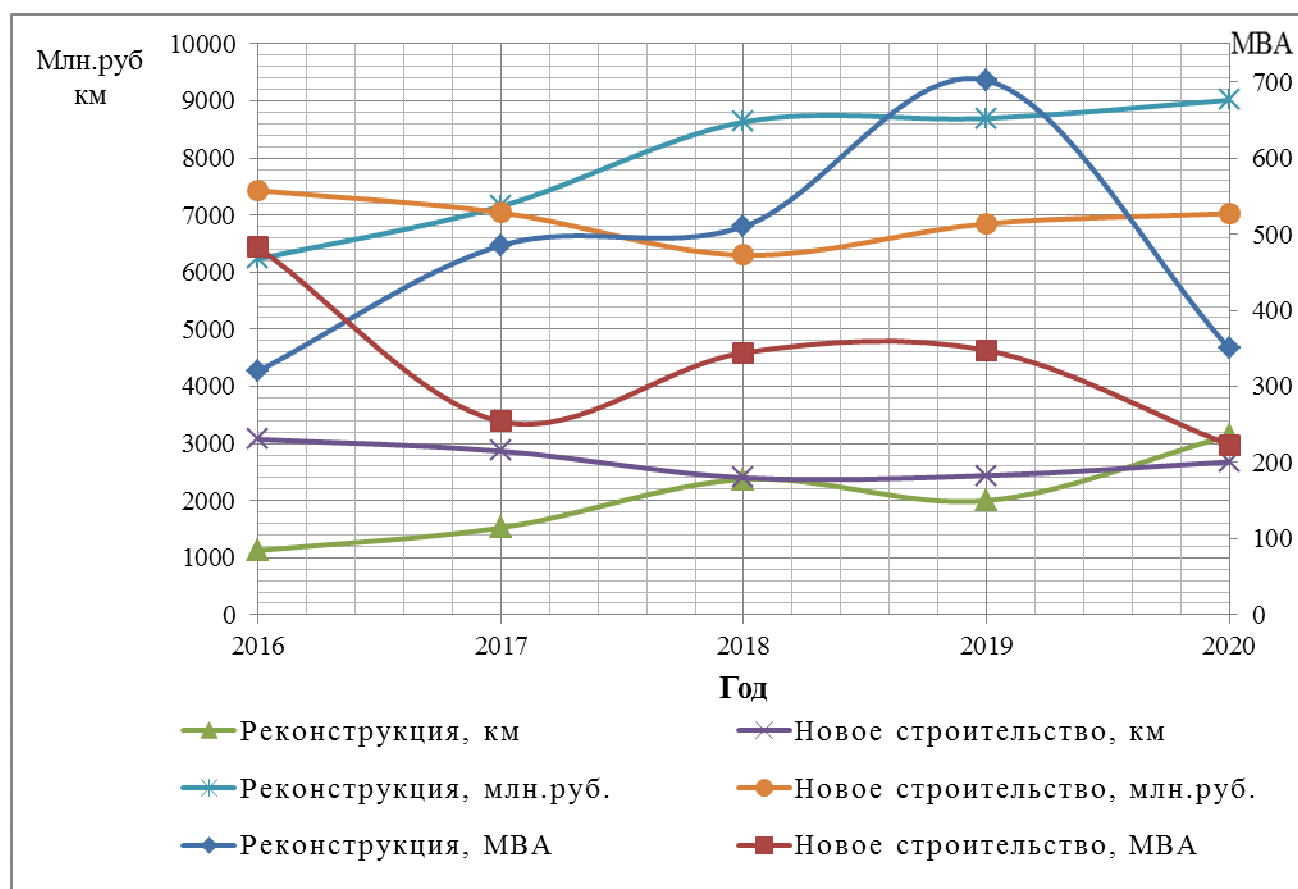


Рисунок 3 - Динамика инвестиционных проектов ввода мощностей и реконструкции электрических сетей

Анализируя различные показатели эффективности работы ЭСП, следует отметить их большое многообразие и широкую дифференцированность. С одной стороны, это позволяет оценить широкий спектр функций исследуемого объекта, а, с другой стороны, усложняет общую оценку деятельности ЭСП. Например, показатели, изображенные на рис.3, отражают лишь собственную динамику, но не дают оценки их влияния на другие показатели эффективности.

Потому необходимо разработать новую методику комплексной оценки различных показателей эффективности работы ЭСП, например, на основе

научной методологии квалиметрии, когда отдельные показатели объекта являются частью его общей целевой функции.

Литература

1. ФЗ от 26.03.2003 №35-ФЗ (ред. от 03.11.2015) «Об электроэнергетике».
2. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2009 г. № 1220 "Об определении применяемых при установлении долгосрочных тарифов показателей надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг" (с изменениями и дополнениями).
3. Приказ Минэнерго от 14 октября 2013 года № 718 "Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций".
4. Приказ ФСТ РФ от 26.10.2010 № 254-э/1 "Об утверждении Методических указаний по расчету и применению понижающих (повышающих) коэффициентов, позволяющих обеспечить соответствие уровня тарифов, установленных для организаций, осуществляющих регулируемую деятельность, уровню надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 13.11.2010 N 18951).
5. Годовой отчет открытого акционерного общества «Межрегиональная распределительная сетевая компания центра» за 2015 год от 10 июня 2016 года
6. Тихонова А.К. Исследование показателей эффективности работы электроэнергетических сетевых предприятий/ Информационные технологии, энергетика и экономика Сб.трудов.- Том 1. – 2016. – С. 67-72.

Е.Г. Кациева; С.М. Кадиев
(ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»
в г. Махачкале)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТУРБИН НА ГЭС

Существующие конструкции гидроагрегатов сложились в основном в период изолированной работы ГЭС или работы в сравнительно небольших энергообъединениях.

Анализ режимов работы энергоисточников в крупных многоагрегатных энергообъединениях показывает, что роль ГЭС и ситуации, в которых они работают, с развитием энергохозяйства постепенно меняются.

Значение ГЭС как источников энергии, в первую очередь в европейской части снижается, зато растет их важность как установок, обеспечивающих переменную часть графика нагрузок энергосистемы и повышающих устойчивость параллельной работы энергосистем.

Это означает, что актуальность задачи регулирования быстрых колебаний частоты для агрегатов ГЭС в крупных ОЭС практически исчезает. Более того, при рассмотрении вопроса привлечения ГЭС к решению этой задачи необходимо учесть, что регуляторы гидротурбин, имеющие большие постоянные инерции, размеры органов регулирования и изодромные механизмы, могут реагировать в основном на медленные колебания нагрузки.

С учетом указанных обстоятельств, ставится вопрос о целесообразности выполнения на агрегатах во всех случаях сложных, дорогих регулирующих органов. Нельзя ли их упростить хотя бы на части агрегатов, сохранив только возможности пуска, останова при необходимости изменения графика? Например, зачем турбине ГЭС поворотные лопасти, особенно для ГЭС, где предусмотрено забор воды на нужды неэнергетических водопользователей и работающие в основном с постоянной нагрузкой?

На всех ли агрегатах ГЭС в энергообъединении нужны рабочие колеса с подвижными лопастями? Ведь все эти узлы усложняются, удорожают в изготовлении, монтаже, накладке, автоматизацию и эксплуатацию.

Растут сроки строительства, загрязняется окружающая среда из-за увеличения утечек масла через уплотнения подвижных частей.

К агрегатам, намечаемым для базовой части графика нагрузки, требования к КПД, удобства эксплуатации должны быть максимальными и, наоборот, к быстродействию и полноте внедрения автоматики могут быть смягчены. Агрегаты же, работающие в пиковой части графика нагрузки с наименьшим среднегодовым числом часов использования, могут иметь несколько пониженные значения КПД, но зато эти агрегаты должны быть максимально упрощенными, дешевыми, простыми в монтаже и эксплуатации, автоматизированными и наиболее мобильными в аварийных ситуациях.

Упрощение конструкций агрегатов электростанций в последние годы отмечаются и за рубежом. Так, известны сотни маломощных ГЭС с асинхронными генераторами, у которых нет ни систем регулирования напряжения ни систем регулирования скорости вращения, значительно упрощена их автоматика. Предлагается устанавливать на небольших ГЭС максимально упрощенные агрегаты даже различной мощности, чтобы менять между собой их сочетания, обеспечить с необходимой степенью точности регулирование нагрузки ГЭС.

Стремление получить во всех случаях на турбинных характеристиках широкий диапазон высоких КПД, т.е. максимально расширить пологий участок рабочей эксплуатационной характеристики $\eta=f(N)$, не всегда оправданно.

Переход от сложных турбин к более простым пропеллерным, хотя бы на части агрегатов ГЭС, значительно снизит стоимость. Удешевление возникает при замене их лопастно-регулируемыми (Томана) или турбинами, имеющими рабочие колеса с перестановочными лопастями, в ряде случаев вместо них можно использовать радиально-осевые турбины.

Рабочее колесо с поворотными лопастями один из наиболее сложных и трудоемких узлов гидротурбины как в изготовлении, сборке и монтаже, так и в эксплуатации. Трудоемкость в изготовлении ПЛ турбин по сравнению с пропеллерными на 20-25% больше. У них на 8-12% меньше мощности при одинаковых размерах, на 10-15% меньше коэффициент быстроходности. Они менее надежны, требуют металла на 10-15% больше, тяжелее, имеют большие габариты втулки корпуса и соответственно худшие кавитационные качества. Из-за наличия сальников, цапф и механизмов поворота лопасти выдерживают меньшие изгибающие моменты, чем у пропеллерных. У поворотно-лопастных турбин величина зазоров «лопасть-камера» особенно при нагрузках с большими углами установки μ , т.е. при

нагрузках, на которых в основном работает агрегат, намного шире, чем у пропеллерных, что на агрегатах с большими диаметрами рабочих колес вызывает существенные объемные потери. К ним прибавляются и потери «лопасть-втулка», которые у пропеллерных турбин практически отсутствуют, по-

этому у ПЛ турбин КПД в оптимуме $\eta_{\max}$ на 1-2 % меньше, чем пропеллерных. 60-80%

Отметим еще один весьма важный фактор. Обычно в поворотно-лопастных турбинах $\eta_{\max}$ реализуется при нагрузках в интервале 60-80% от максимальной, т.е. колесо проектируется так, чтобы наибольшее значение КПД было в этом интервале. При выполнении же их более упрощенными, эти потери устраняются, растет мощность, повышается надежность, снижается стоимость.

При монтаже и в эксплуатации сложно обеспечить строго одинаковый угол установки всех лопастей ПЛ турбин, поэтому возникает гидродинамический небаланс и пульсации давления в водоводе, увеличивается вибрация, снижается КПД и надежность агрегата.

Одним из существенных преимуществ пропеллерных турбин перед поворотно-лопастными является отсутствием трудностей, связанных с обеспечением герметичности рабочего колеса. Нет простых надежных конструкций уплотнения, даже после хорошего уплотнения при наладке во время эксплуатации постепенно увеличивается утечка масла. Этому способствуют вибрационные и кавитационные явления, которым в большей степени подвержены турбины типа ПЛ. Устранение утечек масла требует вывода агрегатов в ремонт для осушки проточной части турбин и для наладочных работ.

Отсюда, упрощение не только снижает стоимость турбины, издержки по эксплуатации, но и способствует охране окружающей среды.

При этом заметим, что в Канаде упрощенные типы турбин, это связано с тем, что фактору времени строительства, упрощению и удешевлению эксплуатации придается большое значение, например, на таких крупных ГЭС, как Рокки-Рич-2(США), установлены турбины ПР по 140МВт. На ГЭС Роберт-Содерс (Канада) и Роберт-Мозес (США) на реке Св. Лаврентия установлено 32 пропеллерные турбины по 55,0 МВт. На Днепровской ГЭС им. В.И.Ленина часть турбин переведены в пропеллерный режим.

Естественно, поскольку на пропеллерных турбинах отсутствует возможность для разворота лопастей на пусковой угол, то в зоне холостого хода у них выше вибрационные и кавитационные явления. Но из-за кратковременности работы на этих режимах они не опасны, что вполне подтвердил опыт эксплуатации перечисленных ГЭС с ПР турбинами. Вместе с тем при переводе ПЛ в режим ПР необходимо провести натурные испытания для определения оптимального режима работы

Литература:

1. Веремеенко И.С., Папанов А.В. Создание и освоение первых крупных отечественных пропеллерных гидротурбин второй очереди Днепровской ГЭС им. В.И.Ленина- Энергомашиностроение, 1980, №4
2. Тамадаев А.М. Экономическое обоснование упрощения схем механического оборудования ГЭС изв. Вузов Энергетика 1963г
3. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Хохлов А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем М. Высшая школа, 1983

ОЦЕНКА ВОЗРАСТАНИЯ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ

В настоящее время цена на электрическую энергию формируется с помощью рыночных механизмов и складывается из двух составляющих стоимости выработки электроэнергии и стоимости ее передачи.

Однако при выполнении технико-экономических и оптимизационных расчетов в электроэнергетике используют понятие удельной стоимости электрической энергии. От правильного определения этого показателя во многом зависят и результаты технико-экономических и оптимизационных расчетов, и выводы, следующие из этих результатов.

Для определения затрат на передачу электроэнергии до потребителя, в том числе и затрат на покрытие потерь электроэнергии, необходимо к затратам на энергию на станциях энергосистемы прибавить дополнительные затраты на передачу электроэнергии по сетям разных уровней напряжения. При этом необходимо учитывать резерв мощности в энергосистеме и затраты энергии на собственные нужды станции.

При передаче электроэнергии от шин энергосистемы потребителю через несколько звеньев электропередачи - воздушные линии и трансформаторные подстанции, в каждом из этих звеньев имеются потери мощности и энергии, затраты на которые надо учитывать. Кроме того необходимо учитывать и дополнительные затраты на сооружение и эксплуатацию каждого из звеньев электропередачи.

В [1] была предложена методика по определению удельных затрат на энергию потребителя, питающегося от энергосистемы через последовательные звенья. Изложенная методика позволяет учесть дополнительные затраты в промежуточных звеньях и определить удельные затраты на потери электроэнергии в сетях. Но для того, чтобы использовать эту методику необходимо знание большого числа величин, причем некоторые из них достоверно определить нельзя и могут быть оценены лишь приблизительно, а для вычисления других требуется хорошо налаженная система учета, сбора и обработки технической информации по всем звеньям энергосистемы и проведение значительного количества специальных исследований. Эти величины зависят от многих разнообразных факторов, наиболее значимые из них:

- технико-экономические показатели эффективности функционирования электрических станций и сетей;
- стоимость топлива;
- удаленность приемников электрической от источников питания;
- графики нагрузки;
- степень участия потребителей в максимуме нагрузки энергосистемы.

Однако, некоторые исходные данные, необходимые для решения задачи, являются не детерминированными и не стохастическими величинами, для ко-

торых известных их законы распределения, а непредсказуемыми (неопределенными) величинами. Как показывает анализ, неопределенными величинами являются электрические нагрузки многих потребителей в конце расчетного периода, значения ущербов от перерывов электроснабжения, от снижения качества напряжения и другие неучтенные технико-экономические показатели, влияющие на экономичность процесса производства, передачи, распределение и потребления электроэнергии.

В результате затраты на передачу электроэнергии по существу величины неопределённые и их значения могут колебаться в сравнительно больших пределах.

Таким образом, возникает задача разработки методики определения затрат на передачу электроэнергии, позволяющую достоверно определить их значение, с использованием меньшего количества показателей, которые можно определить достаточно точно.

Как известно, стоимость передачи электроэнергии зависит от величины потерь энергии и в конечном счете от числа учитываемых элементов энергосистемы. Следовательно, необходима методика, позволяющая определять увеличение стоимости передачи электроэнергии в зависимости от числа элементов системы электроснабжения (ЭЭС).

В [2] используется коэффициент δ , учитывающий затраты на расширение электрических сетей, обусловленные передачей мощности для покрытия потерь активной мощности:

$$\delta = 1 + 0,02 \cdot \Delta \mathcal{E}, \quad (1)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – сумма потерь электроэнергии в процентах к передаваемой по сетям от источника питания к потребителям электроэнергии.

Выражая величину $\Delta \mathcal{E}$ через КПД (η) элементов СЭС, можно получить:

$$\delta = 1 + 2 \cdot \sum_{i=1}^n (1 - \eta). \quad (2)$$

В связи с тем, что стоимость электроэнергии принимается по тарифу, при выполнении технико-экономических расчетов не подходят дифференцированно к элементам системы электроснабжения, расположенным на разных ступенях напряжения в системе. В [3] предпринята попытка дифференцированного подхода к определению стоимости электроэнергии на различных ступенях СЭС.

Согласно методике [3] увеличение затрат на покрытие потерь энергии на ближайший расчетный период предлагается учитывать коэффициентом:

$$K_{ув} = \frac{1}{1 - 0,1 \cdot n}, \quad (3)$$

где n – число ступеней трансформации от генераторных шин до рассматриваемого элемента энергосистемы.

В данной работе увеличение стоимости электроэнергии предлагается учитывать с помощью системных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются методом последовательной оптимизации технико-экономических моделей СЭС, полученных с учетом взаимного влияния элементов. В качестве технико-экономических моделей используются выражения годовых дисконтированных по ставке сравнения затрат на систему, в которой взаимосвязь элементов

учитывается посредством их КПД, выраженных через оптимизируемые параметры [4].

По сравнению с другими в предлагаемом методе задача определения стоимости электроэнергии на различных ступенях энергосистемы электроснабжения решается на основе учета дисконтированных затрат на передачу электроэнергии от источника в рассматриваемую точку сети, что позволяет более точно учесть влияющие факторы.

Сравнивая и анализируя различные методы определения стоимости электроэнергии на различных этапах при ее передаче, можно сделать следующие выводы:

1. Поправочный коэффициент α не учитывает взаимного влияния элементов СЭС, поэтому его значение получается заниженным.
2. Определение коэффициента увеличения с учетом числа трансформаций позволяет подойти дифференцированно к элементам СЭС, расположенным на разных ступенях напряжения, но без учета параллельных ответвлений на каждой ступени, что усредняет ее величину.
3. Применение предлагаемого метода определения коэффициента увеличения стоимости передачи электроэнергии с помощью системных коэффициентов позволяет учесть число элементов СЭС, влияние на каждый из них как последующих, так и предыдущих элементов, в том числе и на параллельных ответвлениях и, следовательно, получить более точное значение коэффициента увеличения стоимости электроэнергии при ее передачи по системе электроснабжения.
4. Для большинства рассмотренных СЭС значения этих коэффициентов в процессе удаления от источника питания изменяются в среднем от 1,2 до 2,0.

Литература

1. Инструкция по определению удельных затрат на потери электрической энергии в распределительных сетях 0,38...110кВ. –М.: Сельэнергопроект, 1974.
2. Козлов В.А. Электроснабжение городов. –Л.: Энергия, 1977.
3. Козлов В.А. Методика технико-экономических расчетов городских распределительных сетей. –М: Госэнергоиздат, 1958.
4. Методические разработки по оптимизации параметров электрических сетей с учетом взаимного влияния элементов. - Смоленский ОКП Ленинградского отделения ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект», 1990.

*В.С. Ковженкин, к.т.н., доц., Л.С. Певцова, ст. пр.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ МЕРТВЫХ ЗОН (РЗМЗ)

В открытых распределительных устройствах (ОРУ) высокого напряжения имеются участки, в которых не действует быстродействующая релейная защита. Это участки между выводами выключателей и измерительных трансформаторов

тока (ТА). Длина этих соединений выключателей с трансформаторами тока может достигать десятков метров. Короткие замыкания (КЗ), могущие случиться на этих участках ОРУ, ликвидируются действием устройств отказа выключателей. Это не всегда приемлемо, так как при большом времени отключения КЗ может быть нарушена динамическая устойчивость энергосистемы.

Авторский коллектив специалистов системного оператора совместно со специалистами НИУ МЭИ, НПФ ЭЛНАП и ИГЭУ разработали быстродействующую релейную защиту, реагирующую на КЗ в мертвых зонах ОРУ [1]. Принцип действия защиты заключается в сравнении фаз токов, которые измеряются на каждом конце мертвой зоны. Если мгновенные значения токов по концам мертвой зоны более чем 4 мс имеют разные знаки, то защита формирует сигнал о наличии КЗ в этой зоне, и дается команда на отключение соответствующих выключателей.

Техническое решение, предложенное вышеназванным коллективом, предполагает установку измерительных преобразователей на высоком потенциале возле выводов ТА и выключателей на каждой из фаз. Сигналы измерительной информации о КЗ передаются с помощью радиосигнала на модуль приема, находящегося в шкафу на потенциале земли. Наиболее сложной задачей в реализации РЗМЗ является работа составных частей, расположенных на высоком потенциале с мощными электромагнитными полями. Если бы задача решалась прямолинейно, то полноценное экранирование обеспечивалось бы массивным электромагнитным экраном, что увеличивало бы размеры и массу устройства до недопустимых.

Задача была решена таким образом, что электрическое поле было экранировано электростатическим экраном, а магнитное – скомпенсировано электромагнитным экраном и специальным расположением электронных плат устройства и стойкостью компонентов элементной базы к электромагнитным воздействиям.

Можно предложить другой вариант выполнения РЗМЗ, не размещая элементы защиты на высоком потенциале, а используя для измерения тока на выводах выключателя и ТА установленные на расстоянии, соответствующем по ПТБ не меньше, чем разрешенные расстояния до токоведущих частей по воздуху для данного класса напряжения, дистанционные измерительные преобразователи тока (ДИПТ) типа ТВМ-2П [2]. С помощью этих преобразователей с достаточной для релейной защиты точностью можно измерять величину тока. Выходным сигналом этого ИПТ является $U_{\text{вых}}$, равное

$$U_{\text{вых}} = M \cdot I_1,$$

где M - взаимная индукция между проводом с измеряемым током I_1 и ИПТ.

Названный измерительный преобразователь конструктивно представляет собой Н-образный магнитопровод, набранный из листов электротехнической стали, с четырьмя обмотками. Две из этих обмоток основные – они расположены на стороне магнитопровода, которая ближе к проводу с измеряемым током, а две другие – компенсирующие. Общий вид преобразователя показан на рисунке 1.

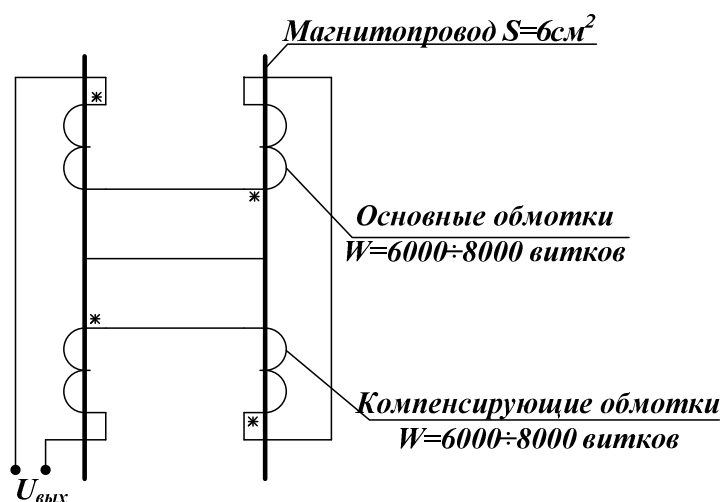


Рис. 1 – Общий вид ДИПТ ТВМ-2П

Взаимная индуктивность может быть выражена как

$$M = K_e K_l K_\alpha,$$

где K_e – единичная взаимная индуктивность (при $K_l = 1$ и $K_\alpha = 1$), K_l – коэффициент удаленности для расстояния от провода 1 м, $K_l = 1$, K_α – угловой коэффициент, зависящий от углов ориентации на провод с измеряемым током.

Наличие большого воздушного зазора обеспечивает линейную зависимость выходного напряжения в широком диапазоне измеряемых токов. Наличие магнитопровода приводит к погрешностям в области малых токов (потери на намагничивание магнитопровода) и в области очень больших токов начинается насыщение стали. Так при токе в проводе 20 кА и более и расположении измерительного преобразователя на расстоянии от провода 1 м (для 110 кВ) начинается насыщение магнитопровода преобразователя [3]. Трехфазный комплект таких преобразователей испытывался на подстанции Талашкино в составе защиты линий №105 110 кВ в течение почти 20 лет и показал свою работоспособность и приемлемые точностные характеристики. Основная токовая погрешность при воздействии магнитных полей соседних фаз и тока в земле не превышала 1% при реальных КЗ на линии искусственных двухфазных КЗ на землю.

Если такие измерительные преобразователи устанавливать в ОРУ 220,330, 500 и 750 кВ, то расстояния до провода от измерительного преобразователя соответственно составит 2; 2,5; 3,5 и 5 м. Чем дальше от измеряемого тока расположен дистанционный измерительный преобразователь, тем меньше будет $U_{\text{вых}}$.

При установке данных преобразователей на расстоянии 2 м и более выходная характеристика его будет линейной на всем диапазоне как номинальных, так и аварийных токов.

Рассмотрим, чем будет отличаться устройство защиты, выполненное с использованием ТВМ-2П, от РЗМЗ, выполненной с помещением ИПТ на потенциале провода. Структурная схема РЗМЗ представлена на рисунке 2.

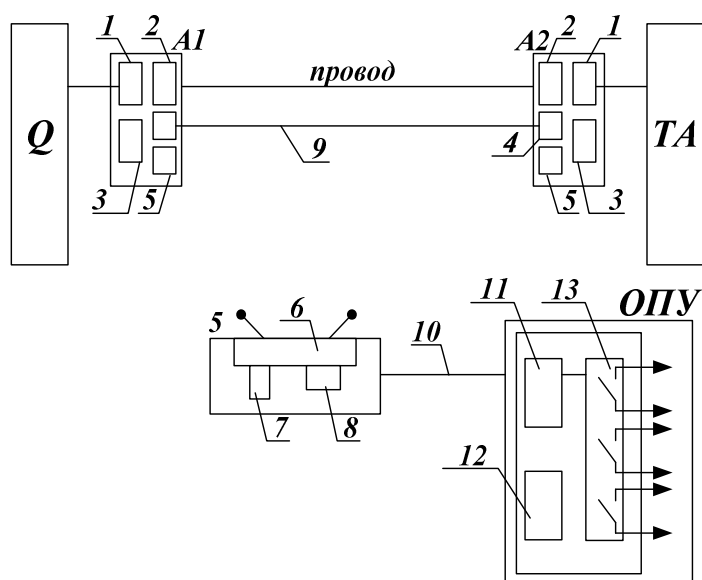


Рис. 2 – Структурная схема РЗМЗ

На рисунке 2 обозначены Q – выключатель, ТА – трансформатор тока, A_1 , A_2 – выносные релейные блоки, 1 – измерительный блок, 2 – блок питания, 3 – блок сравнения и логики принятия решений, 4 – модем волоконно-оптической линии связи, 5 – радиопередатчик, Б – шкаф приемопередачи (модуль приема), 6 – радиоприемник, 7 – блок питания, 8 – блок электрооптического преобразователя, 9, 10 – волоконно-оптическая линия связи, В – модуль распределения команд, 11 – блок электронного преобразователя, 12 – блок питания, 13 – реле размножитель контактов.

На рисунке 3 представлена структурная схема РЗМЗ с использованием дистанционного измерительного преобразователя.

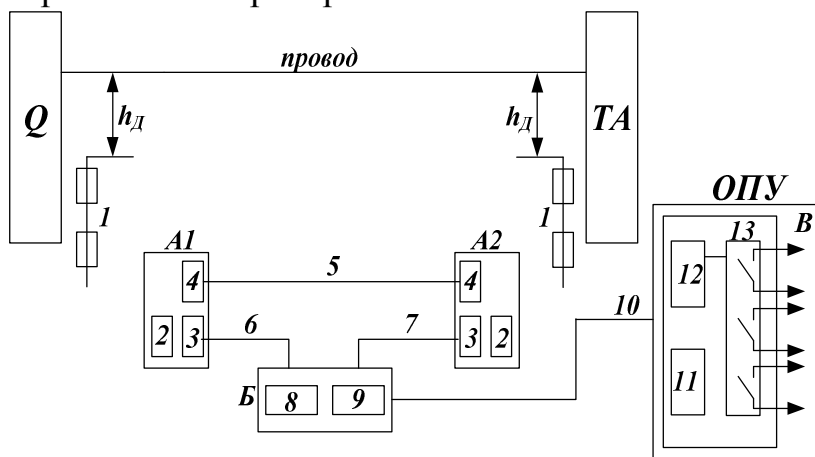


Рис. 3 – Структурная схема РЗМЗ с ДИПТ

На этом рисунке 3 Q – выключатель, ТА – трансформатор тока, 1 – дистанционный измерительный преобразователь тока, 2 – блок питания, 3 – блок сравнения и логики принятия решений, 4 – модем волоконно-оптической линии связи, 5, 6, 7, 10 – волоконно-оптическая линия связи, 8 – блок питания, 9 – блок электрооптического преобразователя, 11 – блок питания, 12 – блок оптоэлектронного преобразователя, 13 – реле размножитель контактов.

Отличие защиты на рисунке 3 от защиты на рисунке 2 состоит в том, что в последнем варианте нет комплектов, расположенных на высоком потенциале, поэтому нет необходимости в применении различного рода экранов, радиопередатчиков и приемников – это касается аппаратуры, значительно упрощается монтаж устройства. Связи между блоками A_1 и A_2 и Б можно выполнять не волоконно-оптической линией связи, а экранированным коаксиальным кабелем или витой парой. Остальные характеристики вариантов сопоставимы.

Выводы.

1. Использование в качестве измерительных преобразователей для РЗМЗ дистанционных преобразователей типа ТВМ-2П обеспечит требуемую точность измерений тока.

2. Стоимость варианта РЗМЗ с ДИПТ значительно меньше варианта с установкой выносных комплектов на потенциале провода.

3. Упрощается монтаж устройств РЗМЗ.

Литература

1. Корпоративный бюллетень ОАО «СО ЕЭС» «50 Гц» №1(21) май 2016 г. С.10-12.
2. А.С. 1132238 СССР МКИ G 01 R 19/00. Электромагнитный датчик для измерения тока в проводе трехфазной линии электропередачи высокого напряжения. Арцишевский Я. Л., Грушенко В.И., Казанский В.Е., Ковженкин В.С. // Открытие, изобретение. – 1984, Бюллетень №48.
3. Ковженкин В.С. Исследование дистанционных трансформаторов тока применительно к релейной защите линий напряжением 110-220 кВ: дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук., М.:1997.

В.С. Петров, к. т. н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Для оценки количественных показателей надежности электротехнических изделий в настоящее время все более широко применяются методы ускоренных испытаний [1, 2]. Это объясняется тем, что для получения количественных показателей надежности в нормальных условиях необходимо проводить испытания в течение большого промежутка времени, исчисляемого месяцами, а то и годами, в то время как ускоренные испытания позволяют получить необходимую информацию о надежности за время, значительно меньшее, чем гарантийный срок службы изделий.

Определение показателей надежности по результатам ускоренных испытаний предполагает знание некоторого устойчивого соотношения или зависимости показателей надежности в нормальном режиме и при ускоренных испытаниях, т. е. должна быть найдена такая функция

$$\varphi_* = (a_*, b_* \dots) = \frac{T_0}{T}, \quad (1)$$

где T_0 , T — показатели надежности в нормальном и ускоренном режимах; a_* , b_* — относительные значения параметров ускорения испытания (коэффициенты ужесточения), которая при изменении ускоряющих факторов a , $b, \dots$ в некотором интервале их значений остается неизменной.

Выражение (1), записанное в относительных единицах и обладающее отмеченным выше свойством неизменности в некотором интервале изменения параметров ускорения, согласно теории подобия, является критерием подобия [2]

$$T_* = \frac{T_0}{T} = \varphi_*(a_*, b_*, \dots) = \text{idem.} \quad (2)$$

Условие (2) означает, что для получения достоверной информации о надежности исследуемых изделий при проведении ускоренных испытаний необходимо обеспечить подобие процессов возникновения отказов изделий в нормальном и ужесточенных режимах. Кроме того, выполнение условия (2) определяет возможную границу ужесточения испытаний, так как при несоблюдении этого условия нарушается физика отказов.

Поскольку показатели надежности — это некоторые функции времени безотказной работы, то при выявлении их подобия необходимо исходить из понятий так называемого функционального подобия, некоторые теоретические основы которого изложены в [3].

В лаборатории надежности кафедры электрических систем Смоленского филиала МЭИ были проведены ускоренные испытания ламп накаливания. Испытаниям подвергались лампы типа МН-2,5-0,15 со средней продолжительностью горения согласно ГОСТу 2204—69 $T=45$ часов при номинальном напряжении. В качестве ужесточающего фактора на основании предварительных исследований было выбрано напряжение постоянного тока, подводимое к лампе. Испытания проводились при напряжениях питания 3,6; 4 и 4,5 В, лежащих на интервале значений, в котором по предварительным исследованиям сохранялось подобие процессов возникновения отказов. На каждом из указанных напряжений испытаниям подвергалось 50 ламп. Результаты испытаний помещены в таблицах 1÷3.

Таблица 1—Результаты испытания ламп при $U=3,6$ В

Продолжительность горения ламп, мин.			
19	38	85	213
20	43	100	265
20	45	105	267
21	50	118	275
28	50	135	297
29	51	164	330
30	52	167	345
30	54	182	349
31	59	183	355
31	60	187	382
33	75	188	429
36	77	192	460
	79	207	
T=140,82 мин. S=121,964 мин.			

Таблица 2–Результаты испытания ламп при U=4 В

Продолжительность горения ламп, мин.			
5,167	13,0	37,2	68,5
5,667	15,7	39,767	68,5
6,0	20,416	40,0	69,83
7,167	21,0	50,784	77,5
77,334	22,0	52,033	77,75
7,5	22,85	52,417	83,3
7,75	24,833	54,0	92,584
8,5	29,934	57,066	95,25
10,0	32,0	59,7	96,33
10,0	33,583	60,75	117,816
10,083	34,583	61,013	125,167
12,25	35,617	62,15	164
	36,25	62,25	
T=45,296 мин. S=35.593 мин.			

Таблица 3–Результаты испытания ламп при U=4,5 В

Продолжительность горения ламп, мин.			
1,79	2,75	3,78	16,33
1,83	2,92	4,00	16,6
2,08	2,97	4,58	17,62
2,3	2,97	5,4	17,75
2,33	3,03	10,32	18,08
2,35	3,1	10,58	18,88
2,37	3,18	11,83	20,01
2,43	3,25	12,17	22,2
2,47	3,33	12,55	22,98
2,67	3,38	14,47	30,0
2,68	3,5	14,5	41,82
2,7	3,57	14,85	47
	3,58	15,77	
T=9,87 мин. S=10,12 мин.			

Продолжительность горения каждой лампы измерена в минутах. Величины продолжительностей в каждой таблице расположены в порядке возрастания для удобства обработки результатов испытаний.

При статистической обработке опытных данных была подтверждена гипотеза о сохранении подобия процессов возникновения отказов ламп накаливания в нормальном и ужесточенных режимах, так как в этих режимах сохраняется экспоненциальный закон распределения отказов, согласие которого проверялось по критерию А. Н. Колмогорова. Таким образом, может быть установлена функция

$$T_* = \frac{T_0}{T} = \varphi_*(U_*) = \text{idem.} \quad (3)$$

где $U_* = \frac{U}{U_H}$ — относительное значение ускоряющего фактора (коэффициент ужесточения);

U — напряжение питания;

U_H — номинальное напряжение;

T_0 — среднее время безотказной работы в нормальном режиме при $U=U_H$;

T — среднее время безотказной работы в ужесточенном режиме при $U > U_H$;

T_* — симплексный критерий подобия (коэффициент ускорения).

Неизменность функции (3) в интервале значений ужесточающего фактора $[U_H, U_{max}]$ обеспечивает подобие процессов возникновения отказов и позволяет определить показатели надежности ламп в нормальном режиме по результатам ускоренных испытаний.

Для определения вида функции (3) составим таблицу 4, в которую поместим полученные из эксперимента данные продолжительности горения ламп, а также расчетные значения коэффициентов ускорения и коэффициентов ужесточения испытаний для различных значений питающего напряжения.

Таблица 4— Экспериментальные данные

	Нормальный режим	Ужесточенный режим		
Напряжение U , В	2,5	3,6	4	4,5
Коэффициент ужесточения $U_* = \frac{U}{U_H}$	1	1,44	1,6	1,8
Средняя продолжительность горения, T , мин.	2700	140,82	42,87	9,87
Коэффициент ускорения $T_* = \frac{T_0}{T}$	1	19,17	62,98	273,55

По данным таблицы 4 на рис. 1 построена кривая зависимости $T_* = \varphi(U_*)$. Эта же зависимость, построенная на рис. 2 в логарифмическом масштабе, позволяет сделать вывод о том, что функция (3) хорошо аппроксимируется (см. табл. 5) показательной функцией вида:

$$T_* = \frac{T_0}{T} = \varphi_*(U_*) = e^{7(U_* - 1)} \quad (4)$$

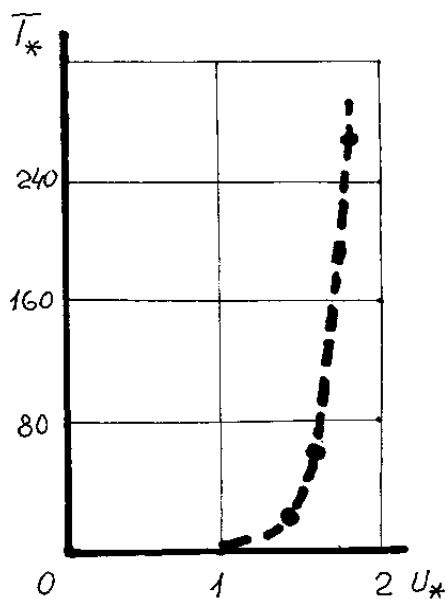


Рисунок 1. График зависимости $T^* = \varphi(U^*)$.

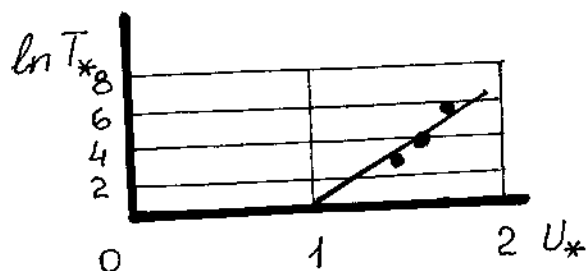


Рисунок 2. График зависимости $\ln T^* = \varphi(U^*)$.

Таблица 5—Сравнение данных эксперимента и расчёта

Коэффициент ужестчения U^*	1	1,44	1,6	1,8
Значение T^* , полученное из опыта	1	19,17	62,98	273,55
Значение T^* , рассчитанное по выражению (4)	1	20	66	273,55

С учетом того, что вид функции (4) определялся по результатам испытаний ограниченной выборки (50 ламп для каждого режима испытаний) на рис. 3 показана зона изменения функции (4), рассчитанная с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$.

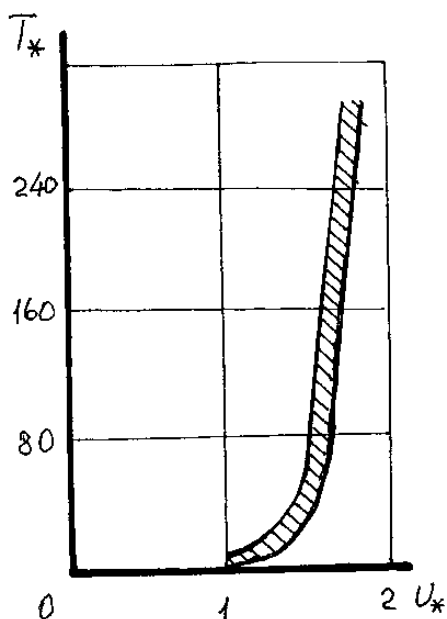


Рисунок 3. График разброса значений T^*

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально подтверждена возможность применения методов теории подобия для определения показателей; надежности ламп накаливания на основе данных ускоренных испытаний.

2. Применительно к лампе накаливания типа МН-2,5—0,15 повышение испытательного напряжения в 1,8 раз, по сравнению с номинальным, сокращает продолжительность испытаний по определению времени безотказной работы примерно в 280 раз.

Л и т е р а т у р а

1. Перроте А. И., Карташев Г. Д., Цветаев К. Н. Основы ускоренных испытаний радиоэлементов на надежность. М., Советское радио 1968 г.

2. Веников В. А. Теория подобия и моделирование применительно к задаче электроэнергетики, М., Высшая школа, 1966.

3. Гордиевский И.Г., Кавченков В.П. Основы моделирования систем электроснабжения.- Смоленск, 2000 г.

4. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин. -М.: Энергия, 2006, -312с.

Петров В.С., к. т. н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Электрические машины являются одним из наиболее распространенных элементов систем электроснабжения. Отказы электрических машин в эксплуатации наносят значительный материальный ущерб народному хозяйству.

Количественной мерой надежности электрической машины могут служить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, значение параметра потока отказа и др.

Основной недостаток всех известных методов и методик оценки показателей надежности заключается в достаточно большой длительности, сложности и трудоёмкости испытаний на надёжность [7]. Поэтому возникает задача совершенствования, упрощения и удешевления испытаний на надежность и методов её оценки.

Для решения этой задачи по совершенствованию методов оценки показателей надежности электрических машин, работающих в системах электроснабжения, представляется целесообразным рассмотреть (исследовать) влияние переходных процессов на их надежность. Это обусловлено тем, что переходный процесс является динамическим режимом работы двигателя (в общем случае любого исследуемого объекта), когда наиболее полно проявляется истинный уровень состояния двигателя (объекта) и информация о надежности в этом случае максимальна.

Для исследований оценки влияния переходных процессов на надёжность асинхронных двигателей можно указать на возможные два подхода: интегральный и дифференциальный [4].

Интегральный метод— это метод, когда оценка влияния переходных процессов определяется в целом, когда не выделяются отдельные стороны

его, а процесс оценивается по совокупному эффекту. Покажем такой подход на примере. Будем считать, что вероятность безотказной работы асинхронного двигателя описывается экспоненциальным законом $p(t)=\exp(-\Omega t)$, где Ω – параметр потока отказов двигателя; t – время; это во многих случаях соответствует действительности [6, 7].

При учете переходных процессов и оценке надёжности асинхронных двигателей в этом случае для параметра потока отказов можно предложить формулу

$$\Omega=\omega_y+\omega_n, \quad (1)$$

где ω_y –параметр потока отказов в установившемся режиме;

ω_n – параметр потока отказов в переходном режиме.

В общем случае параметр потока отказов в переходном режиме есть некоторая функция от числа циклов переходных режимов (пуск– стоп, пуск– наброс, нагрузка– стоп, реверс, и т.д.) и времени

$$\omega_n=\varphi(t,N). \quad (2)$$

Если положить, что $\omega_y=\omega_0$, $\omega_n=\omega_1 N$, то пользуясь (1), имеем

$$\Omega=\omega_0+\omega_1 N, \quad (3)$$

Преобразуя (3) и используя критериальный метод, основанный на теории подобия [1], получим поток отказов

$$\Omega=\omega_0(1+\omega_1^* N), \quad (4)$$

Причем установлено, согласно [2,3], что для однотипных электродвигателей и одинаковых циклов величина ω_1^* практически примерно постоянна, т.е. $\omega_1^*=idem$. Тогда в соответствии с теорией подобия [1,4] формула (4) для потока отказов запишется в виде

$$\Omega=\omega_0(1+\pi_1 N), \quad (5)$$

где $\pi_1=\omega_1^*=idem$ – критерий подобия, который можно определить как коэффициент цикличности параметра потока отказов, эквивалент времени непрерывной работы двигателя.

Выражение (5) позволяет определить численное значение параметра потока. Но зачастую важно знать не только его численное значение, но и в большей степени нормированное значение по отношению к $\omega_{об}$ – значению параметра потока отказов в непрерывном режиме для хорошо изученного типа серии асинхронных двигателей, принятого за базовый. Такую возможность дает применение теории подобия. Она позволяет получить критериальную модель надёжности асинхронного двигателя для параметра потока отказов в виде

$$\Omega^*=K^*(1+\pi_1 N), \quad (6)$$

где $\Omega^*=\Omega/\omega_{об}$; $K^*=\omega_0/\omega_{об}$.

Выражение (6) является более общим и позволяет без знания количественных показателей надёжности асинхронных двигателей серии оценить, как изменяется надёжность работы двигателя при увеличении или уменьшении числа циклов N по отношению к базисному $\omega_{об}$.

Критериальная модель (6) получена в предположении одинакового режима работы двигателей одной серии. Эту модель можно распространить и на двигатели другой серии и другие режимы работы путем введения поправочных коэффициентов (коэффициентов влияния).

Задача исследований на первом этапе состоит в отыскании зависимости (6) группы асинхронных двигателей, для которых выполняются условия

$$K^* \approx \text{idem}; \pi_t \approx \text{idem}. \quad (7)$$

При отыскании выражений вида (6) и критериев (7) следует рассматривать подобие и моделирование как стохастические [4], так как сами по себе значения K^* и π_t – случайные величины, обусловленные случайным характером исходных данных и ограниченностью выборки.

Дифференциальный метод применительно к асинхронным двигателям предполагает оценивать надёжность асинхронных двигателей по одному или нескольким параметрам переходного процесса.

Таким образом, в этом случае необходимо отыскать зависимость вида

$$\Omega = f(\xi_i, v_i, t_p, \dots, a_i, b_i), \quad (8)$$

где a_i – внутренние физические, технические и экономические параметры; b_i – параметры среды (внешние); ξ_i, v_i – характеристические коэффициенты; t_p – время переходного режима.

Используя предложенные подходы и, следовательно, критериальные (обобщённые) уравнения вида (6) или (8), можно решать ряд задач по оценке надёжности и качества асинхронных двигателей, такие, как прогнозирование и построение методики ускоренных испытаний [5, 7], диагностики технического состояния двигателя из анализа формы (образа) переходного процесса, формирования переходных процессов заданного качества и в том числе с учетом требуемой надёжности и др.

Литература

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. - М.: Высшая школа, 1976, -479 с.
2. Павленко К.И. Надёжность радиоэлектронной аппаратуры при циклическом и непрерывном режимах использования. - М.: Сов. Радио, 1971, -160 с.
3. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. – М.: Госэнергоиздат, 1963, -528 с.
4. Гордиевский И.Г. Переходные процессы и вопросы надёжности. – Тр./Моск.энерг.ин-т, 1980, вып.447, с.38-40.
5. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети/ Под общ.ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. - М.: Энергия, 1980, -576 с.
6. Критериальная обработка результатов ускоренных испытаний / Гордиевский И.Г., Карасев Д.Д., Кавченков В.П. и др. – Журнал ЭП. Электрические машины, 1975, вып11(57), с. 23-26.
7. Ермилов Н.П., Жерихин И.П. Надёжность электрических машин. - Л.: Энергия, 1976, -248 с.
8. Кузнецов Н.Л. Надёжность электрических машин. - М.: Энергия, 2006, -312с.
9. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. -Изд-во «Колос», 2005, -312 с.
10. Мотрошилова О.Д. Анализ отказов асинхронных двигателей. Сборник трудов 10-ой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Смоленск, Изд-во «Универсум», 2013, С.54-58.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА СТОИМОСТИ ВЫРАБОТКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В современных условиях эксплуатации электрических сетей особое значение имеют потери электрической энергии при её передаче. В статье сравниваются два подхода снижения потерь электрической энергии с использованием метода критериальной комплексной оптимизации режима работы сети.

При оптимизации режимов электроэнергетических систем часто встает вопрос об учете стоимости выработки реактивной мощности в системе. Необходимость учета рассмотрим на примере трехузловой сети, изображенной на рис. 1. Исходные данные: передача электрической энергии производится по одноцепным воздушным линиям (ВЛ) $U_{НОМ}=110$ кВ, используются провода марки АС-70/11: $r_0=0,422$ Ом/км, $x_0=0,444$ Ом/км, $b_0=2,547 \cdot 10^{-6}$ См/км. Длины линии 1-2, 2-3 и 1-3 соответственно равны $L_{12}=60$ км, $L_{23}=50$ км, $L_{31}=70$ км. Активные мощности 1-й, 2-й и 3-й нагрузок соответственно составляют $P_1=10$ МВт, $P_2=15$ МВт, $P_3=25$ МВт, при $\cos\varphi_H=0,93$, узел № 1 базисный, удельные затраты на выработку активных мощностей станциями равны $\xi_{P1}=0,40$ руб/кВт·ч, $\xi_{P2}=0,395$ руб/кВт·ч, $\xi_{P3}=0,39$ руб/кВт·ч. Определим параметры матрицы узловых проводимостей. Для этого необходимо рассчитать сопротивления и проводимости ЛЭП.

Матрица узловых проводимостей для сети представленной на рисунке 1 имеет следующий вид:

$$Y = \begin{bmatrix} 0,035 - j0,037 & -0,019 + j0,02 & -0,016 + j0,017 \\ -0,019 + j0,02 & 0,041 - j0,044 & -0,022 + j0,024 \\ -0,016 + j0,017 & -0,022 + j0,024 & 0,039 - j0,041 \end{bmatrix} \quad (1)$$

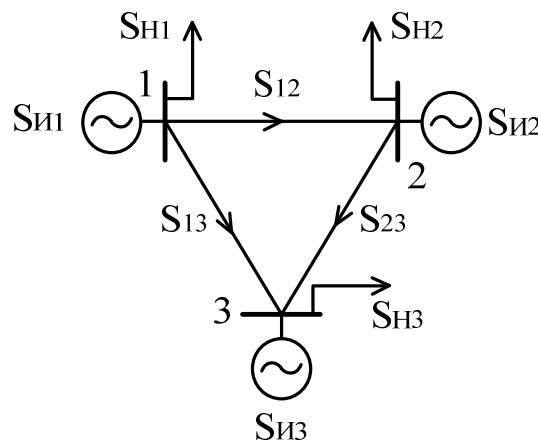


Рис. 1. Схема сети

Проанализируем первый случай комплексной оптимизации без учета стоимости реактивной мощности, т.е. реактивная мощность бесплатна.

Задача: определить распределение мощностей в сети на рисунке 1, соответствующее наименьшим потерям активной мощности в сети.

Целевая функция затрат на выработку и передачу электроэнергии по данной системе:

$$Z = \varepsilon_{P1} P_{H1} + \varepsilon_{P2} P_{H2} + \varepsilon_{P3} P_{H3} = \varepsilon_{P1} \cdot \text{Re}(S_{H1}) + \varepsilon_{P2} \cdot \text{Re}(S_{H2}) + \varepsilon_{P3} \cdot \text{Re}(S_{H3}) \quad (2)$$

при выполнении ограничений-равенств в виде баланса мощности:

$$\begin{bmatrix} S_{H1} \\ S_{H2} \\ S_{H3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & E_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{H1} &= E_1 \cdot Y_{11} \cdot E_1^* + E_1 \cdot Y_{12} \cdot E_2^* + E_1 \cdot Y_{13} \cdot E_3^* + S_{H1}, \\ S_{H2} &= E_2 \cdot Y_{21} \cdot E_1^* + E_2 \cdot Y_{22} \cdot E_2^* + E_2 \cdot Y_{23} \cdot E_3^* + S_{H2}, \\ S_{H3} &= E_3 \cdot Y_{31} \cdot E_1^* + E_3 \cdot Y_{32} \cdot E_2^* + E_3 \cdot Y_{33} \cdot E_3^* + S_{H3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Задачу решим в о вещественном виде методом Лагранжа:

$$L = \varepsilon_{PY} P_{HY} + \lambda_{PY} \left[\text{Re} \left(E_{Y(Y)} Y_{YU} E_Y^* \right) + P_{HY} - P_{HY} \right]. \quad (5)$$

Необходимое условие экстремума функции Лагранжа запишем в виде:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{HY}} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial U_H} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_{PY}} = 0. \quad (6)$$

Из условия (6) следует, что $\lambda_{PY} = \varepsilon_{PY}$, то есть, комплексные множители функции Лагранжа оказались равными удельным затратам на выработку мощностей станциями, тогда (5) примет вид:

$$L = \varepsilon_{PY} \left[\text{Re} \left(E_{Y(Y)} Y_{YU} E_Y^* \right) + P_{HY} \right]. \quad (7)$$

Используя методику [1] приводим подобные относительно оптимизируемых параметров U_2, V_2, U_3, V_3 . Минимизируем полученное из (7) выражение методом [4], определяем следующие значения оптимизируемых параметров:

$$\begin{cases} E_2 = U_2 + j \cdot V_2 = 110,707 + j0,733 \text{ В}, \\ E_3 = U_3 + j \cdot V_3 = 111,411 + j1,484 \text{ В}. \end{cases} \quad (8)$$

Им соответствуют следующие оптимальные значения мощностей источников:

$$\begin{cases} S_{H1} = [1,70 + j7,982] \text{ МВА}, \\ S_{H2} = [14,344 + j9,479] \text{ МВА}, \\ S_{H3} = [34,066 - j13,890] \text{ МВА}. \end{cases} \quad (9)$$

и оптимальные значения перетоков полных мощностей по ВЛ:

$$\begin{cases} S_{12} = [9,066 + j3,890] \text{ МВА}, \\ S_{13} = [-17,366 + j0,092] \text{ МВА}, \\ S_{23} = [8,410 + j7,369] \text{ МВА}. \end{cases} \quad (10)$$

Во втором случае оптимизации решаем ту же задачу, но с учетом стоимости реактивной мощности. Принимаем удельные затраты на выработку реактивных мощностей равными $\xi_{Q1}=0,004$ руб/кВар·ч,

$\xi_{Q2}=0,003$ руб/кВар·ч, $\xi_{Q3}=0,002$ руб/кВар·ч.

Целевая функция затрат в этом случае примет следующий вид:

$$\begin{aligned} Z &= \varepsilon_{P1} P_{H1} + \varepsilon_{P2} P_{H2} + \varepsilon_{P3} P_{H3} + \varepsilon_{Q1} Q_{H1} + \varepsilon_{Q2} Q_{H2} + \varepsilon_{Q3} Q_{H3} = \\ &= \varepsilon_{P1} \cdot \operatorname{Re}(S_{H1}) + \varepsilon_{P2} \cdot \operatorname{Re}(S_{H2}) + \varepsilon_{P3} \cdot \operatorname{Re}(S_{H3}) + \varepsilon_{Q1} \cdot \operatorname{Im}(S_{H1}) + \\ &\quad + \varepsilon_{Q2} \cdot \operatorname{Im}(S_{H2}) + \varepsilon_{Q3} \cdot \operatorname{Im}(S_{H3}) \end{aligned} \quad (11)$$

при выполнении ограничений (2), (3).

Задачу решаем в ошествленном виде метод Лагранжа:

$$\begin{aligned} L &= \varepsilon_{PY} P_{HY} + \varepsilon_{QY} Q_{HY} + \lambda_{PY} \left[\operatorname{Re} \left(E_{Y(Y)}^* Y_{YV}^* E_Y \right) + P_{HY} - P_{HY} \right] + \\ &\quad + \lambda_{QY} \left[\operatorname{Im} \left(E_{Y(Y)}^* Y_{YV}^* E_Y \right) + Q_{HY} - Q_{HY} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Необходимое условие экстремума запишем в виде:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{HY}} = 0, \quad j \frac{\partial L}{\partial Q_{HY}} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial U_H} = 0, \quad j \frac{\partial L}{\partial V_H} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_{PY}} = 0, \quad j \frac{\partial L}{\partial \lambda_{QY}} = 0. \quad (13)$$

Учитывая, что $\lambda_{PY} = \varepsilon_{PY}$, $\lambda_{QY} = \varepsilon_{QY}$, (12) примет вид:

$$L = \varepsilon_{PY} \left[\operatorname{Re} \left(E_{Y(Y)}^* Y_{YV}^* E_Y \right) + P_{HY} \right] + \varepsilon_{QY} \left[\operatorname{Im} \left(E_{Y(Y)}^* Y_{YV}^* E_Y \right) + Q_{HY} \right]. \quad (14)$$

Минимизируя выражение (14), получили следующие значения оптимизируемых параметров:

$$\begin{cases} E_2 = U_2 + j \cdot V_2 = 110,835 + j0,589 \text{ В}, \\ E_3 = U_3 + j \cdot V_3 = 111,687 + j1,195 \text{ В}. \end{cases} \quad (15)$$

Им соответствуют следующие оптимальные значения мощностей источников:

$$\begin{cases} S_{H1} = [1,797 + j6,383] \text{ МВА}, \\ S_{H2} = [14,306 + j9,318] \text{ МВА}, \\ S_{H3} = [34,009 + j15,678] \text{ МВА}. \end{cases} \quad (16)$$

и оптимальные значения перетоков полных мощностей:

$$\begin{cases} S_{12} = [9,009 + j5,687] \text{ МВА}, \\ S_{13} = [-17,212 - j3,295] \text{ МВА}, \\ S_{23} = [8,316 + j8,997] \text{ МВА}. \end{cases} \quad (17)$$

Табл. 1. Сравнение результатов расчетов

Условия минимизации	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	ΔS , МВА
без учета стоимости реактивной мощности	110	110,707+ $j0,733$	111,411+ $j1,484$	0,111+ $j11,351$
с учетом стоимости реактивной мощности	110	110,835+ $j0,589$	111,687+ $j1,195$	0,113+ $j11,380$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) При комплексной оптимизации режимов электрических сетей необходимо учитывать стоимость выработки как активной, так и реактивной электроэнергии на электрических станциях, так как в общем случае результаты оптимизации отличаются.

2) Учет стоимости реактивной мощности изменяет величину потерь в большую сторону. Следовательно, для получения более точных результатов необходимо проводить оптимизацию с учетом стоимости выработки как активной, так и реактивной мощности. Особенно это актуально в условиях рыночной экономики.

3) При оптимизации энергосистемы данным методом, можно сделать заключение о экономически целесообразном состоянии электрических станций по заданным графикам нагрузок сети.

Литература

1. Солопов Р.В, Рациональная форма записи нелинейных уравнений узловых напряжений. Девятая Межд. науч.техн. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». В 3-х т. Т. 3. – М.: МЭИ, 2003. -352 с
2. Карасев Д.Д., Солопов Р.В. Минимизация потерь мощности в электрических сетях с высокой степенью неоднородности. Журнал «Электричество».– №10, 2002.
3. Черненко И.Д., Тихонова А.К., рук: Солопов Р.В. Комплексная оптимизация режима простейшей электроэнергетической системы // Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. труд. XIII Межд. научн.-технич. конф. студ. и аспирантов Филиала МЭИ в г. Смоленске, Смоленск, 2016. Т. 1, С. 76-79.
4. Кавченков В.П., Солопов Р.В. Алгоритм комплексной оптимизации режимов электроэнергетической системы с использованием обобщенных критериев подобия. Международный журнал «Программные продукты и системы». — 2013. — № 1.

О.А. Фролков, дир. инж. центра; К.О. Киселев, инженер; М.Ш. Хабибуллаева, студ.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГООТДАЧИ ВЕТРОГЕНЕГАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Развитие альтернативной энергетики сделало возможным электроснабжение бытовых объектов от индивидуальных ветроэнергетических установок. Однако на эффективное использование ветрогенераторов (ВГ) накладывает ограничение ряд проблем, главная из которых – нелинейность выходных характеристик таких источников энергии. Выходная ватт-амперная характеристика ВГ представлена на рисунке 1, из которого очевиден экстремальный характер зависимости. При этом промышленно производимых контроллеров, которые отслеживали бы точку максимальной мощности, для ветрогенераторных установок (ВГУ) не выпускается.

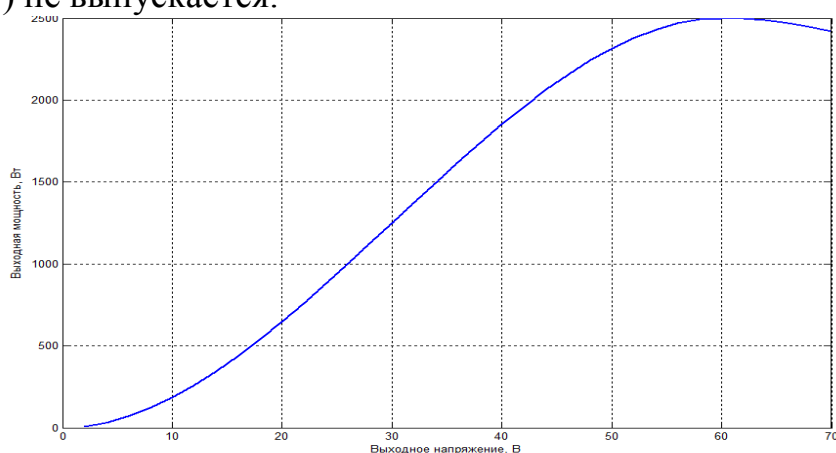


Рисунок 1 - Зависимость выходной мощности ВГ от скорости вращения (выходного напряжения)

Поэтому для данной работы цель может быть сформулирована следующим образом: поиск и исследование методов повышения энергоотдачи ВГУ без физического вмешательства в конструкцию ВГ. Реализация и лабораторные испытания предложенных методов. Создание контроллера точки максимальной мощности (ТММ) ВГУ.

Паспортные данные рассматриваемого ветрогенератора:

- Номинальная мощность, $P_{\text{ном}} = 2500 \text{ Вт}$
- Номинальная частота вращения, $f_{\text{ном}} = 360 \text{ об/мин} = 6 \text{ Гц}$
- Номинальная скорость ветра, $V_{\text{ном}} = 10 \text{ м/с}$
- Радиус ветроколеса, $R = 1,9 \text{ м}$
- Номинальное напряжение, $U_{\text{ном}} \approx 60 \text{ В}$
- Зависимость напряжения от частоты, $K_{\omega f} = 5 \text{ В/Гц}$
- Номинальный ток, $I_{\text{ном}} \approx \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \approx 39 \text{ А}$

Используя характеристики ВГУ, рассчитаем максимальный коэффициент использования энергии ветра:

$$K_{изв} = \frac{2500}{\pi \cdot 1,23 \cdot 1,9^2 \cdot \frac{10^3}{2}} = 0,36$$

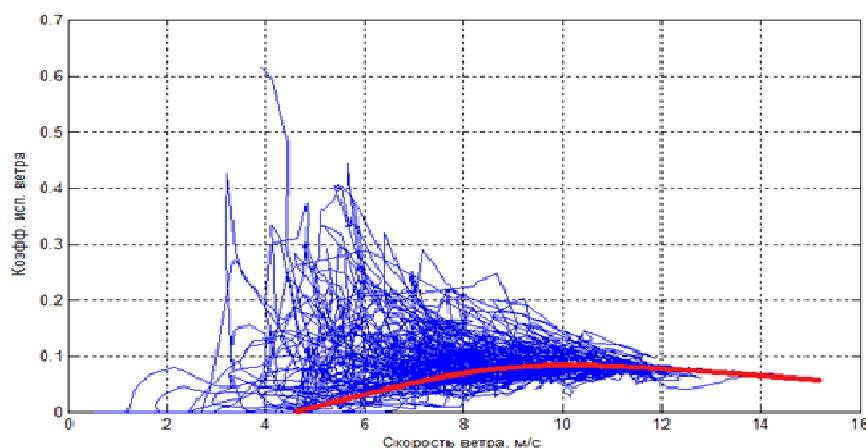


Рисунок 2- Экспериментально полученная зависимость $K_{изв}$

Из рисунка видим, что реальный коэффициент примерно в 3 раза меньше, чем рассчитанный. У этого явления возможно несколько причин: неизвестно при каком характере нагрузки была измерена номинальная мощность 2500 Вт; нестабильность ветра: изменяющийся со временем ветер не позволяет выйти ветрогенератору на установившийся режим работы; завышенное значение номинальной мощности – учитывая дороговизну подключения строящихся домов в регионах к электрическим сетям, на ветрогенераторы имеется потребительский спрос, что заставляет производителей сильно конкурировать между собой, в том числе и недобросовестно.

Учитывая, что скорость ветра с течением времени меняется, для оценки эффективности ВГУ используют интегральную зависимость. При этом для учета различной средней скорости ветра в различных районах, оценка производится на интервалах 0-5 м/с, 0-10 м/с и 0-15 м/с. Так как нагрузка с против-ЭДС представляет максимальный интерес (часто используемый и наиболее надежный способ обеспечения электроэнергией), то в системах альтернативной энергетики применяются преимущественно свинцовые АКБ напряжением 12 - 13,8 В, соединяемые параллельно для увеличения емкости и последовательно для увеличения номинального напряжения. Поэтому данные рассчитываются для 4-х случаев: одна АКБ напряжением 12 В, две – 24 В, три – 36 В и четыре – 48 В.

$$Q_{0-V_{max}} = \int_0^{V_{max}} P(V) \cdot dV$$

Результаты сведены в таблицу:

$U_{акб}, В$ \ $V, м/с$	0 - 5	0 - 10	0 - 15
12	67	413,6	1256,9
24	102,9	1083,9	2778,3
36	66,13	1411,8	6050,8
48	12,2	1326,9	6896,7
Идеальная нагрузка	112,5	1512,5	7200

По представленным результатам видно, что в регионах, где средняя скорость ветра лежит в диапазоне 0-5 м/с, эффективной является работа ВГ на две последовательно включенные АКБ, суммарное напряжение которых составляет 24 В, хотя нормальным режимом для ВГ должна быть работа на 4 АКБ – такая система будет собирать большее количество энергии в длительном промежутке времени. То есть имеет место противоречие: для увеличения эффективности работы ВГУ необходимо одновременно уменьшать и увеличивать число последовательно включенных АКБ.

Устранить данное противоречие можно с помощью преобразователя напряжения. Это должен быть повышающе – понижающий преобразователь либо только повышающий. Так как рабочие частоты ВГУ составляют 0 - 15Гц, то это обязательно должен быть импульсный преобразователь. Применение трансформаторного преобразователя ограничивает диапазоны входных и выходных напряжений, поэтому это должен быть однотактный DC-DC преобразователь 1 - 2 (совмещенный) рода.

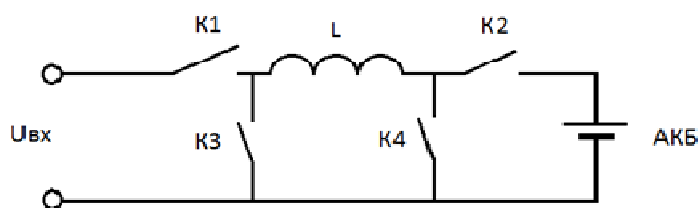


Рисунок 3 - Схема силового контура предлагаемого преобразователя

Управляя ключами K1 - K4, можно обеспечить произвольную передаточную характеристику. А с помощью программных средств управления появляется возможность реализовать оптимальную входную характеристику, обеспечив при этом корректный режим заряда АКБ.

Для оценки эффективности метода проведено математическое моделирование рассматриваемого ВГУ. Для анализа использовалась информация, накопленная за 2-х летний период работы ВГУ в составе энергокомплекса ла-

боратории альтернативной энергетики филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. В Matlab импортировали данные о действующем выходном напряжении U , В; скорости ветра V , м/с; выходной мощности P , Вт и токе от ВГ I , А за период с 13.06.2014 04:26:06 по 13.06.2014 05:31:48 длительностью $T=3943$ с.

Для моделирования и проверки гипотезы подготовили три набора экспериментально снятых данных:

- 1) Запись длительностью 5000 с. Ветер изменяется в диапазоне 0 - 5 м/с.
- 2) Запись длительностью 1500 с. Ветер изменяется от 1 до 10 м/с со средним значением около 6 м/с.
- 3) Запись длительностью 4000 с. Ветер изменяется от 0 до 10 м/с со средним значением около 4 м/с.

Интерес представляет квадратичная входная ВАХ. Т.к. зависимость выходной мощности от скорости ветра (и выходного напряжения ВГ в статическом режиме) имеет кубический характер, а $P = U \cdot I$, то можно предположить, что $I = f(U^2)$. Исходя из точек максимальной мощности на характеристике ВГ, рассчитали параметры входной ВАХ оптимальной нагрузки:

$$I(U) = 0,003 \cdot U^2$$

В результате моделирования получили данные:

Номер набора входных данных	1	2	3
Количество энергии от имеющейся установки	0	$2,46 \cdot 10^5$	$1,26 \cdot 10^5$
Количество энергии от модели	$3,7 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^5$	$2,44 \cdot 10^5$
Увеличение эффективности, %	-	14	90

Учитывая, что в Смоленской области преобладают слабые ветры, то наибольшее время ВГ находится в условиях, соответствующим 1 и 3 случаю. Итак, гипотеза подтверждена: эффект от применения преобразователя, имеющего квадратичную ВАХ, составит до 90% увеличения энергоотдачи.

На рис. 4 предоставлена кривая коэффициента использования энергии ветра ($K_{изв}$) при квадратичной ВАХ нагрузки.

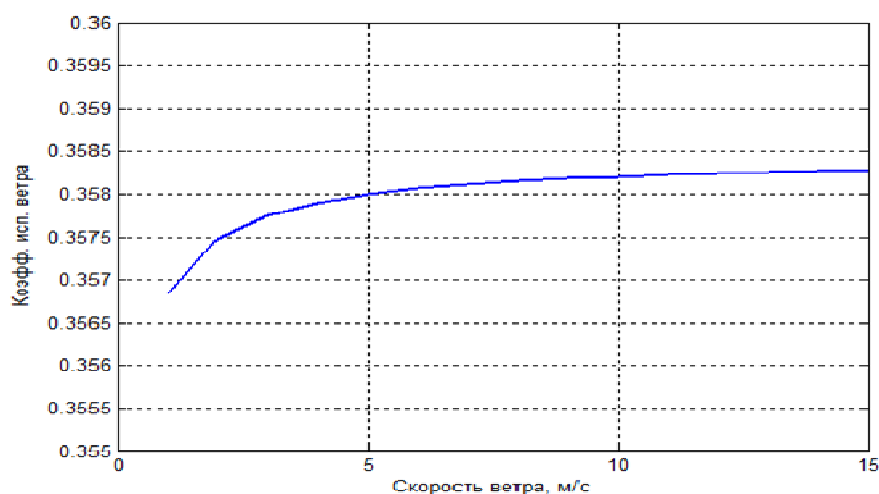


Рисунок 4 - $K_{изв}$ при квадратичной входной ВАХ

По данному рисунку видно, что $K_{из}$ приближается к максимально возможному значению, которое было рассчитано выше.

Заключение: в ходе исследований был проведен анализ теоретических данных о работе идеального ВГ; проанализирована работа реального ВГ и построена его математическая модель; предложены методы повышения энергоотдачи ВГУ: сформулирована и доказана с помощью математического моделирования предложенная гипотеза.

Литература

1. Ветроэлектрические станции, В.Н. Андрианов, Д.Н. Быстрицкий, К.П. Вашкевич, В.Р. Секторов, Государственное энергетическое издательство, Москва, 1960г.

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*В.Р. Белалов, к.т.н., А.Ф. Богатырев, д.т.н., проф., О.А. Макеенкова, к.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ТЕРМОДИФФУЗИЯ В СМЕСИ CH_4 - $n\text{C}_4\text{H}_{10}$ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ, ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Для расчета молекулярного массопереноса в газовой смеси в неизотермических условиях необходимо наряду с коэффициентами диффузии иметь и значение термодиффузионной постоянной [1]. Как показано в работах [1 – 3], зависимость термодиффузионной постоянной от состава, температуры и давления носит достаточно сложный характер и существенно зависит от газовой системы.

Предложенный в работах [1 – 3] метод расчета термодиффузионного разделения требует проверки, особенно для молекул, не являющихся сферически симметричными.

Нами с помощью модифицированного двухколбового аппарата [4], имеющего соотношение объемов горячего и холодного сосудов $V_2/V_1 = 2,82$ [2] было измерено разделение смеси между горячей и холодным сосудами для системы CH_4 - $n\text{C}_4\text{H}_{10}$.

Значения термодиффузионной постоянной α_T вычислялись по формуле [3]:

$$\alpha_T = \frac{\Delta c_1}{c_1 c_2 \ln(T_2/T_1)}, \quad (1)$$

где Δc_1 – выраженное в объемных долях разделение одного из компонентов газовой смеси при данном давлении и температурах горячего T_2 и холодного T_1 сосудов двухколбового аппарата,

c_1 и c_2 – объемные доли компонентов в первоначальной смеси газов.

Согласно работе [1], значение Δc_1 теоретически можно вычислить также по следующей формуле [1, 3]:

$$\Delta c_1 = \frac{\Delta c_1^{T_1} V_1 T_2 Z^{T_1} + \Delta c_1^{T_2} V_2 T_1 Z^{T_2}}{V_1 T_2 Z^{T_1} + V_2 T_1 Z^{T_2}}, \quad (2)$$
$$\Delta c_1^{T_i} = \left(1 - \frac{a}{2}\right) c_1^{T_i} c_2^{T_i} \frac{\sqrt{m_2 Z_1^{T_i}} - \sqrt{m_1 Z_2^{T_i}}}{c_1^{T_i} \sqrt{m_1 Z_2^{T_i}} + c_2^{T_i} \sqrt{m_2 Z_1^{T_i}}} \ln \frac{T_2 Z^{T_2}}{T_1 Z^{T_1}},$$
$$Z^{T_i} = \frac{Z_1^{T_i} Z_2^{T_i}}{Z_1^{T_i} c_2^{T_i} + Z_2^{T_i} c_1^{T_i}},$$

где $Z_1^{T_i}$ и $Z_2^{T_i}$ – сжимаемости чистых компонентов газовой смеси при соответствующей температуре и давлении,

$c_1^{T_i}$ и $c_2^{T_i}$ – объемные доли первого и второго компонентов смеси при соответствующей температуре и давлении,

m_1 и m_2 – массы молекул газов, входящих в данную смесь,

a – эмпирическая константа, определяемая из экспериментов в разреженных газах [3].

Полученные экспериментальные значения Δc_1 и α_T приведены в таблице 1. Здесь же представлены значения Δc_1 , вычисленные по формуле (2).

Таблица 1 – Термодиффузионное разделение и термодиффузионная постоянная системы CH_4 - $n\text{C}_4\text{H}_{10}$ при различных составах смеси, давлениях и температурах

$c(\text{CH}_4)$	темпе- ра-тура холодного сосуда T_1 , К	темпе- ра-тура горячего сосуда T_2 , К	давле-ние в уста-новк е p , МПа	$\Delta c \cdot 10^2$ экс- пер.	$\alpha_T \cdot 10^3$, экс- пер.	$\Delta c \cdot 10^2$ ф-ла (2)	откл. расче- та от экс- п. ε , %
1	2	3	4	5	6	7	8
0,09	300,0	400,0	0,1	0,22	93	0,23	+4,5
0,22				0,57	115	0,55	-3,5
0,36				0,72	109	0,74	+2,8
0,50				0,84	117	0,81	-3,6
0,61				0,76	112	0,77	+1,3
0,75				0,62	115	0,60	-3,2
0,83				0,47	116	0,45	-4,2
0,93				0,20	107	0,21	+5
0,09	300,0	500,0	0,1	0,40	96	0,41	+2,5
0,22				0,92	104	0,95	-2,0
0,36				1,33	113	1,30	-2,3
0,50				1,47	121	1,43	-2,7
0,61				1,37	143	1,35	-1,5
0,75				1,03	143	1,05	+1,9
0,83				0,80	111	0,78	-2,5
0,93				0,39	118	0,38	-2,6
0,09	300,0	600,0	0,1	0,56	99	0,55	-1,8
0,22				1,27	107	1,29	+1,6
0,36				1,78	112	1,76	-1,1
0,50				1,97	114	1,93	-2,0
0,61				1,80	109	1,82	+1,1
0,75				1,42	109	1,43	+0,7
0,83				1,05	107	1,07	+1,9
0,93				0,52	115	0,50	-3,8
0,09	300,0	400,0	0,2	0,37	157	0,38	+2,7
0,22				0,88	178	0,86	-2,3
0,36				1,12	165	1,14	+1,8
0,50				1,25	174	1,22	-2,4
0,61				1,14	166	1,16	+1,7
0,75				0,95	175	0,93	-2,1

0,83				0,70	172	0,71	+1,4
0,93				0,34	181	0,34	0
1	2	3	4	5	6	7	8
0,09	300,0	500,0	0,2	0,68	163	0,67	-1,5
0,22				1,58	180	1,53	-3,2
0,36				2,01	171	2,03	+1,0
0,50				2,12	170	2,17	0
0,61				2,08	171	2,07	-0,5
0,75				1,62	169	1,66	+2,5
0,83				1,22	170	1,25	+2,5
0,93				0,61	184	0,59	-3,3
0,09	300,0	600,0	0,2	0,92	162	0,91	-1,0
0,22				2,05	172	2,08	+1,5
0,36				2,73	171	2,75	+0,7
0,50				2,97	171	2,95	-0,7
0,61				2,79	169	2,80	+0,4
0,75				2,28	175	2,25	-1,3
0,83				1,72	176	1,70	-1,2
0,93				0,78	173	0,80	+2,6

Как видно из таблицы, изменение давления с 0,1 МПа до 0,2 МПа для данной системы приводит к увеличению значения ТДП в 1,6 раза. При этом зависимость α_T от состава газовой смеси увеличивается с ростом давления.

Проведенные измерения и расчет по формуле (2) показывают, что данная формула может быть использована для расчета ТДП α_T и для достаточно сложных по строению молекул, как и для других газов [1 – 3].

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России №2014/123 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности, проект № 2493.

Литература

1. Богатырев А.Ф., Белалов В.Р. Методика расчета характеристик молекулярного массопереноса в не-изотермических условиях в умеренно-плотных газовых системах // Изв. высш. учебн. зав. Проблемы энергетики. 2011. № 3-4. С. 49-52.
2. Белалов В.Р., Богатырев А.Ф. Зависимость термодиффузионного разделения некоторых природных бинарных смесей газов от давления // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2012. № 3 (11). С. 255-264.
3. Белалов В.Р., Богатырев А.Ф. Зависимость термодиффузионного разделения в бинарных смесях газов от давления // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 249-256.
4. Богатырев А.Ф., Незовитина М.А. Термодиффузионное разделение в плотных трехкомпонентных газовых системах // Научное обозрение. 2012. № 2. С. 123-128.

К РАСЧЕТУ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ ГАЗОВ

Для описания процесса термодиффузии обычно используется так называемая термодиффузионная постоянная (ТДП), которая традиционно определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{Tij} = \frac{\ln q_{ij}}{\ln(T_2/T_1)}, \quad (1)$$

где $q_{ij} = \left(\frac{x_{iT_1}}{x_{jT_1}} \right) / \left(\frac{x_{iT_2}}{x_{jT_2}} \right)$ – коэффициент разделения,

T_1, T_2 – температуры холодной и горячей областей газовой смеси,

x_{iT_k} – мольная доля i -го газа при температуре k .

Однако полученное при помощи формулы (1) значение термодиффузионной постоянной зависит от геометрии установки. В то время как величина $\Delta x_i = x_{iT_1} - x_{iT_2}$, называемая разделением и характеризующая изменение состава смеси между холодной и горячей областями, не зависит от геометрических параметров экспериментальной установки [1].

Значения ТДП в многокомпонентных газовых смесях также можно вычислять через величину разделения Δx_i по следующей формуле [1, 2]:

$$\alpha_{Tij}^{\text{mlt}} = \left(\frac{\Delta x_i}{x_i} - \frac{\Delta x_j}{x_j} \right) / \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (2)$$

где разделение Δx_i берется со знаком плюс, если данным компонентом обогащается горячая область, и со знаком минус, если холодная, x_i и x_j – мольные доли компонентов i и j для неделенной смеси.

В случае бинарной смеси, считая, что $\Delta x_i = -\Delta x_j$, соотношения (2) можно записать в следующем виде:

$$\alpha_{Tij}^{\text{bin}} = \frac{\Delta x_{12}}{x_1 x_2} / \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (3)$$

Соотношение (2) получено при условии, что геометрический фактор установки, определяемый по формуле $f = (V_1 T_2)/(V_2 T_1)$, где V_1, V_2 – объемы холодной и горячей колб, соответственно, находится в пределах от 0,5 до 2, тогда значения ТДП, определенные по формулам (1) и (2) совпадают между собой в пределах погрешности эксперимента.

Обычно характеристики термодиффузии экспериментально определяют с помощью так называемого двухколбового аппарата, который представляет собой два находящихся при разных температурах сосуда, соединенных трубкой. После установления стационарного состояния определяется состав газовой смеси в каждом из сосудов. Однако экспериментально более точно и удобно измерять изменение состава газовой смеси между горячим и холодным сосу-

дами. В этом случае для вычисления ТДП более удобно использовать формулу (3).

На основе элементарной кинетической теории для расчета и обобщения данных по термодиффузионному разделению бинарных систем нами была предложена следующая полуэмпирическая формула [1]:

$$\Delta x_{12} = x_1 x_2 \left(1 - \frac{a_{12}}{2} \right) \frac{\sqrt{m_2} - \sqrt{m_1}}{x_1 \sqrt{m_1} + c_2 \sqrt{m_2}} \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (4)$$

где m_1, m_2 – массы молекул легкого и тяжелого компонентов бинарной газовой смеси, соответственно,

a_{12} – эмпирическая константа, определяемая из эксперимента по термодиффузии. Как показали расчеты для всех исследованных нами разреженных бинарных систем газов, значения a_{12} является линейной функцией состава газовой смеси, и для данной смеси газов ее можно представить в следующем виде:

$$a_{12} = A_{12}x_1 + B_{12},$$

где A_{12} и B_{12} постоянные для данной пары газов.

На основе сделанных нами и другими исследователями экспериментов, после обработки имеющихся данных по Δx_{12} и α_{Tij}^{bin} нами были определены значения постоянных A_{12} и B_{12} для 21 пары газов [1 – 5], которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения полуэмпирических констант A_{12} и B_{12} , входящие в формулу для вычисления a_{12}

Система газов	Область темп., К	Интервал мольных долей x_1	Кол-во эксп. точек	$A_{12} \pm \Delta A_{12}$	$B_{12} \pm \Delta B_{12}$
1	2	3	4	5	6
H ₂ -He	100 – 900	0,05 – 0,90	79	0,326±0,016	1,107±0,008
H ₂ -CH ₄	280 – 800	0,06 – 0,92	57	-0,36±0,02	1,529±0,007
H ₂ -Ne	10 – 900	0,20 – 0,87	55	0,57±0,05	1,156±0,028
H ₂ -N ₂	81 – 900	0,10 – 0,85	126	0,197±0,011	1,438±0,005
H ₂ -CO	260 – 900	0,07 – 0,91	42	0,45±0,02	1,35±0,01
H ₂ -Ar	260 – 900	0,06 – 0,95	105	0,309±0,006	1,353±0,007
H ₂ -CO ₂	280 – 880	0,06 – 0,94	103	0,107±0,010	1,493±0,006
He-N ₂	81 – 1010	0,06 – 0,95	85	0,085±0,009	1,174±0,005
He-Ar	90 – 1010	0,03 – 0,93	182	0,178±0,009	1,194±0,005
He-CO ₂	270 – 900	0,10 – 0,81	28	0,11±0,04	1,185±0,025
CH ₄ -Ne	300 – 900	0,09 – 0,90	34	0,44±0,04	1,181±0,020
CH ₄ -N ₂	270 – 800	0,06 – 0,93	43	0,80±0,06	1,00±0,04
CH ₄ -Ar	260 – 900	0,07 – 0,94	54	0,12±0,02	1,49±0,02
1	2	3	4	5	6

CH ₄ -CO ₂	270 – 800	0,06 – 0,90	43	0,140±0,011	1,501±0,009
N ₂ -Ar	94 – 900	0,15 – 0,70	38	0,57±0,09	0,81±0,05
N ₂ -CO ₂	283 – 900	0,10 – 0,93	45	-0,030±0,004	1,471±0,014
CO-CO ₂	283 – 1273	0,12 – 0,77	14	0,019±0,007	1,48±0,04
Ar-CO ₂	270 – 900	0,02 – 0,90	34	0,29±0,11	1,09±0,06
He-Ne	69 - 638	0,20 – 0,90	115	-0,04±0,04	1,004±0,018
He-Kr	185 – 585	0,30 – 0,70	29	0,14±0,063	1,307±0,034
Ne-Kr	77 - 464	0,20 – 0,97	26	-0,19±0,07	1,339±0,030

В таблице 1 наряду со значениями A_{12} и B_{12} указаны интервалы температур и концентраций, в которых проводились эксперименты и количество экспериментальных значений, используемых при обработке. Погрешность вычисления Δx_{12} по приведенным значениям A_{12} и B_{12} не превышает 4%.

Как показано в работах [1 – 5], значения Δx_{12} обычно используются для вычисления термодиффузионных характеристик в бинарных умеренно-плотных газовых системах и многокомпонентных разреженных газовых системах. Как показано в работах [1 – 5] во всех случаях наблюдают неплохое согласие между экспериментальными данными и полученными при вычислении с использованием приведенных в таблице 1 значений A_{12} и B_{12} . Отклонения расчета и эксперимента не превышают 10%, а в подавляющем большинстве случаев составляют 4 – 7%, что позволяет нам рекомендовать найденные нами значения A_{12} и B_{12} для расчетов термодиффузионных характеристик в умеренно-плотных бинарных и разреженных многокомпонентных газовых системах.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России №2014/123 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности, проект № 2493.

Литература

1. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., and Nezovitina M.A. Experimental Study of Thermal Diffusion in Multicomponent Gaseous Systems // International Journal of Thermophysics. 2015. Vol. 36. No. 4. pp. 633-647.
2. Богатырев А.Ф., Белалов В.Р. Методика расчета характеристик молекулярного массопереноса в неизотермических условиях в умеренно-плотных газовых системах // Изв. высш. учебн. зав. Проблемы энергетики. 2011. № 3-4. С. 49-52.
3. Богатырев А.Ф., Белалов В.Р., Незовитина М.А. Термодиффузия в бинарных смесях умеренно плотных газов // ИФЖ. 2013. Т. 86. № 5. С. 1148-1154.
4. Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А., Незовитина М.А. Температурная и концентрационная зависимости термодиффузионного разделения в трехкомпонентных газовых системах // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 5. С. 1205-1214.
5. Незовитина М.А., Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А. Зависимость термодиффузионной постоянной смеси двух газов от добавки третьего // Инженерно-физический журнал. 2016. Т. 89. № 3. С. 728-735.

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ ТЕПЛООБМЕНА ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Одним из основных видов оборудования современных центральных тепловых пунктов (ЦТП) являются теплообменные аппараты систем отопления и горячего водоснабжения.

Ранее в работе [1] был проведен анализ зависимости размеров пластинчатых теплообменных аппаратов от различных типов пластин. На сегодняшний день стоимость пластинчатых и кожухотрубчатых теплообменных аппаратов практически сравнялась, но пластинчатые теплообменники выигрывают по габаритным размерам. Однако показатели качества технической воды не имеют единого руководящего документа, как следствие, контроль состояния водяного хозяйства слабый, что приводит к отложениям на теплообменных поверхностях аппаратов и ухудшению коэффициентов теплопередачи. В связи с этим кожухотрубчатые теплообменные аппараты на сегодняшний день используются не реже, чем пластинчатые.

В данной работе рассмотрены наиболее часто применяемые варианты подключения системы горячего водоснабжения (ГВС) на центральных тепловых пунктах: двухступенчатая последовательная и двухступенчатая смешанная схемы [2].

Важной особенностью при компоновке оборудования на ЦТП является уменьшение габаритных размеров используемых теплообменников. Для анализа изменения площади поверхности теплообмена расчет всех теплообменных аппаратов проводился для 5 наружных диаметров трубок: 16, 20, 25, 38 и 57 мм и в зависимости от расположения труб в трубном пучке: коридорный или шахматный.

Расчет водо-водяных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов системы теплоснабжения и двухступенчатой последовательной схемы системы ГВС проводится для различных температур подогрева холодной водопроводной воды в первой ступени системы ГВС. Температура нагреваемой воды на выходе из первой ступени (на входе во вторую ступень) системы ГВС была принята равной 15, 20, 25, 30, 35, 40 и 45 °С.

На основании полученных результатов построены графики зависимости суммарной площади поверхности теплообменника системы отопления и теплообменников двух ступеней системы ГВС от различной температуры подогрева холодной водопроводной воды в первой ступени системы ГВС для исследуемых диаметров при фиксированных скоростях греющего и нагреваемого теплоносителей. На рис. 1 представлен обобщенный график зависимости для всех диаметров трубок для последовательной схемы подключения системы ГВС с коридорным пучком труб, на рис. 2 – то же, с шахматным пучком, на рис. 3 – для смешанной схемы подключения системы ГВС с коридорным пучком труб, на рис. 4 – то же, с шахматным пучком.

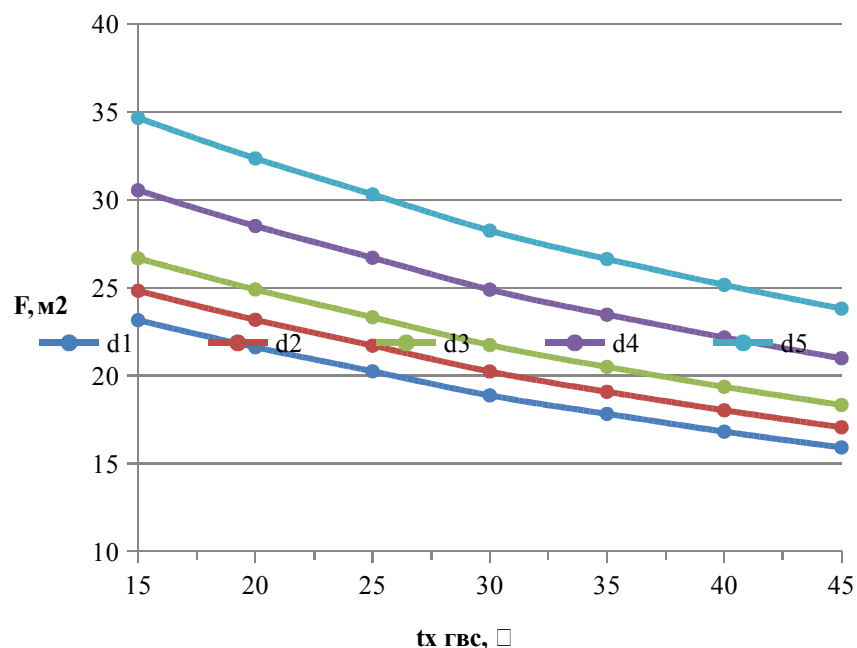


Рисунок 1 — Графики зависимости суммарной площади поверхности теплообмена от температуры подогрева воды в первой ступени двухступенчатой последовательной схемы системы ГВС с коридорным пучком

$d_1 = 16 \text{ мм}$, $d_2 = 20 \text{ мм}$, $d_3 = 25 \text{ мм}$, $d_4 = 38 \text{ мм}$, $d_5 = 57 \text{ мм}$

Из анализа графических зависимостей видно, что чем больше наружный диаметр трубок, тем больше суммарная площадь теплообмена, что приведет к увеличению габаритов самих теплообменных аппаратов. Наименьшими суммарными поверхностями теплообмена обладают теплообменники с пучками труб диаметром 16 мм. Также видно, что расположение труб в пучке для каждой схемы системы ГВС мало влияет на изменения площадей теплообменных аппаратов.

Как видно из графиков, представленных на рис. 1 и рис. 2, значение температуры подогрева холодной воды в первой ступени системы ГВС влияет на площади поверхностей кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Чем больше подогрев холодной воды в первой ступени системы ГВС, тем меньше суммарная площадь поверхности теплообмена. Площадь поверхности теплообмена для коридорного расположения труб в пучке, при увеличении температуры подогрева воды в первой ступени системы ГВС, в среднем снижается на 31,4 %; при увеличении диаметра трубок с 16 мм до 58 мм площадь увеличивается на 31,2 %. Для шахматного расположения труб в пучке площадь поверхность теплообмена, при увеличении температуры подогрева воды в первой ступени, в среднем снижается на 33,5 %; при увеличении диаметра с 16 мм до 58 мм площадь увеличивается на 32,9 %.

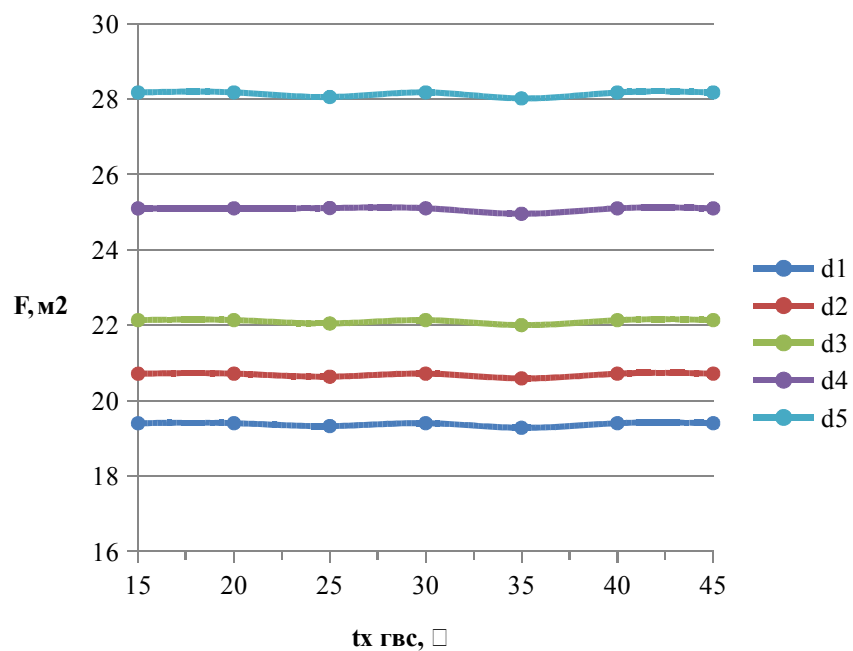


Рисунок 2 — Графики зависимости суммарной площади поверхности теплообмена от температуры подогрева холодной воды в первой ступени двухступенчатой последовательной схемы системы ГВС с шахматным пучком
 $d_1 = 16$ мм, $d_2 = 20$ мм, $d_3 = 25$ мм, $d_4 = 38$ мм, $d_5 = 57$ мм

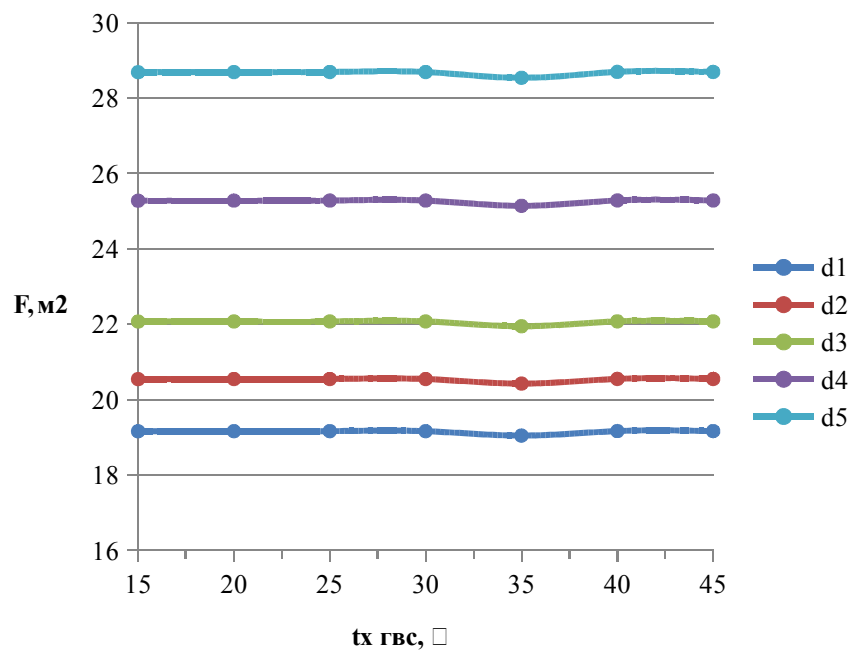


Рисунок 3 — Графики зависимости суммарной площади поверхности теплообмена от температуры подогрева холодной воды в первой ступени двухступенчатой смешанной схемы системы ГВС с коридорным пучком
 $d_1 = 16$ мм, $d_2 = 20$ мм, $d_3 = 25$ мм, $d_4 = 38$ мм, $d_5 = 57$ мм

Анализируя графики на рис. 3 и 4 можно сделать вывод о том, что температура подогрева воды в первой ступени системы ГВС практически не

влияет на площадь теплообмена. Увеличение диаметра с 16 мм до 58 мм ведет к увеличению площади поверхности теплообмена при коридорном пучке труб на 31,1 %, при шахматном расположении труб на 33,2 %.

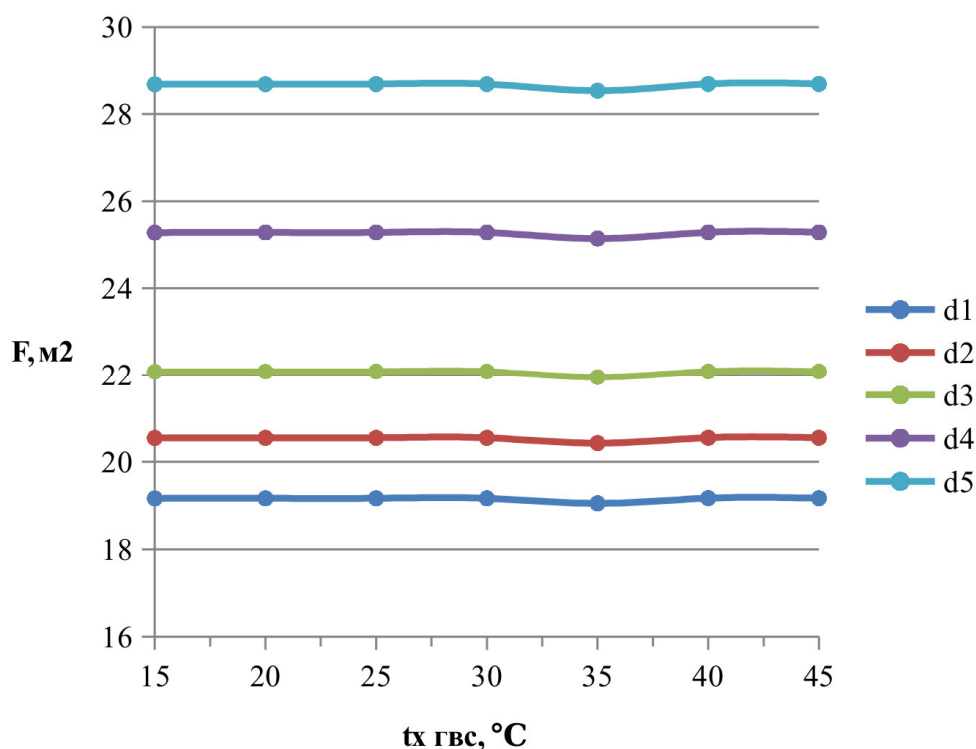


Рисунок 4 — Графики зависимости суммарной площади поверхности теплообмена от температуры подогрева холодной воды в первой ступени двухступенчатой смешанной схемы системы ГВС с шахматным пучком

$d_1 = 16$ мм, $d_2 = 20$ мм, $d_3 = 25$ мм, $d_4 = 38$ мм, $d_5 = 57$ мм

Таким образом, результаты расчета водо-водяных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, применяемых на ЦТП, в зависимости от выбранных диаметров трубок (при фиксированных скоростях греющего и нагреваемого теплоносителей) и температуры подогрева воды в первой ступени системы ГВС показывают, что для снижения суммарной площади теплообмена необходимо стремиться к увеличению температуры воды на выходе из первой ступени (для двухступенчатой последовательной схемы) и уменьшению диаметров трубок в трубном пучке (для обеих схем). Расположение труб в трубном пучке (шахматный или коридорный) практически не влияет на площадь поверхности теплообмена.

Литература

1. Энергетика, информатика, инновации-2015. V Международная научно-техническая конференция (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптотехника). / В 2 томах – Смоленск: Универсум, 2015. Том 1. Секции 1, 2, 3, 4. – 506 с. С. 73-77.
2. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов». С. 25 – 29.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА БЛА

Бортовая авиационная РЛС является одной из ключевых систем бортового радиоэлектронного оборудования БЛА предназначенная для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов методом радиолокации, а также для определения их дальности, размеров и вычисления параметров движения. Бортовая РЛС обнаружения малозаметных целей разрабатывается Смоленским научно-инновационным центром радиоэлектронных систем «Завант» (г. Смоленск) совместно с 11 кафедрой (специальных радиотехнических систем) в рамках опытно-конструкторской работы. Особенностью бортовой РЛС является обнаружение резонансных частот в отражательной характеристике и сопровождение по частоте, дальности и пеленгу малозаметных воздушных целей (БЛА). РЛС размещается на борту БЛА-перехватчика.

Известны работы по разработке подобных антенн, но большинство из них направлены на излучение и прием узкополосных сигналов. Основными ограничениями, которые накладывает факт размещения антенны на борту мини-БЛА являются соответствующие ограничения на ее массогабаритные характеристики. Указанные ограничения требуют максимального снижения габаритов антенн, расположенных в элементах конструкции БЛА. Последнее естественным образом снизит коэффициенты усиления антенн. Однако антенна бортовой РЛС не должна обладать чрезвычайно выраженными направленными свойствами, так как при наличии узких диаграмм направленности антенн необходимо обеспечение сканирования пространства по угловым координатам, что существенным образом усложнит конструкцию бортовой РЛС. Ширина диаграммы направленности бортовых антенн, таким образом, должна составлять 30–40° в вертикальном и горизонтальном сечениях, при этом направления максимумов диаграмм направленности должны быть сориентированы вдоль продольной оси (направлены вперед).

Исследования отражательных и резонансных свойств БЛА класса микро или мини показали, что требуемый диапазон частот бортовой РЛС должен лежать в пределах 2 – 5 ГГц. Таким образом, задача создания плоской печатной гибкой антенны указанного диапазона с характеристикой направленности требуемой ширины является актуальной.

С учетом исходных данных необходимо чтобы антенна удовлетворяла требованиям к излучению и приему СШП-сигналов без искажений, так как они по сравнению с гармоническими сигналами имеют значительные преимущества.

Анализ существующих типов сверхширокополосных антенн показал, что указанным условиям удовлетворяет щелевой ТЕМ рупор.

Конструктивно антенна расположена на поверхности крыла БЛА и имеет форму планера, за счет применения гибкой конструкции антенны и использования фольгированного диэлектрика FR-4 толщиной 0,5 мм.

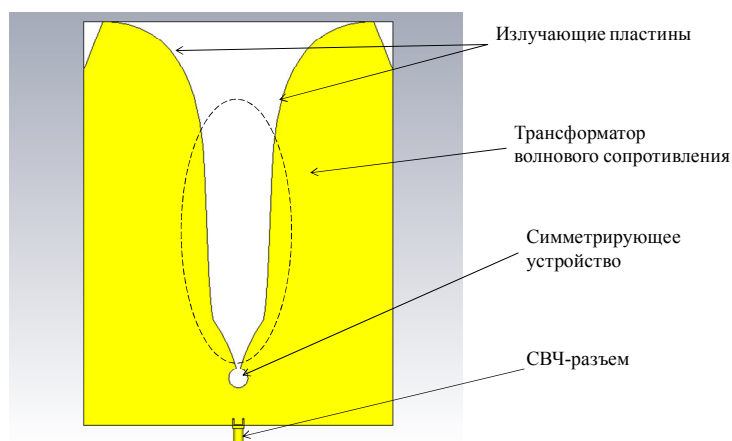


Рисунок 1 — Структура щелевой антенны

Излучающие пластины щелевой антенны можно представить в качестве плавного широкополосного перехода, согласующего волновое сопротивление питающей линии передачи и входа антенны 50 Ом с сопротивлением свободного пространства 376,9 Ом (рис. 1). Как ожидается, такое согласование обеспечит переход (излучение) СШП-сигнала из раскрыва антенны в пространство.

Традиционно плавные переходы используются для согласования линий передачи с различными значениями волновых сопротивлений. Узкополосное согласование достигается за счет использования четвертьволновых трансформаторов. Для широкополосного согласования используются ступенчатые переходы.

В плавном переходе, в отличие от ступенчатого, волновое сопротивление меняется не дискретно, а непрерывно вдоль всей длины перехода, то есть плавный переход, по существу, является неоднородной линией передачи, в которой волновое сопротивление $Z_c(y)$ является функцией продольной координаты (рис. 2).

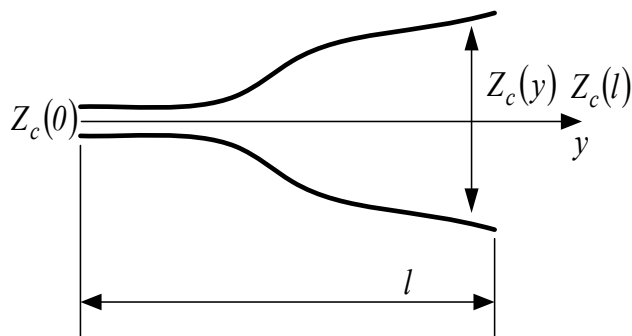


Рисунок 2 — Плавный переход

Расчет плавных переходов на основе точного решения телеграфных уравнений известен лишь для частных случаев распределения погонных параметров по заданной длине линии.

Простейшим широкополосным переходом является экспоненциальный плавный переход. Недостатком экспоненциального перехода является медленное уменьшение коэффициента отражения с ростом частоты. Поэтому такие переходы для обеспечения малого коэффициента отражения имеют наибольшую длину. Среди плавных переходов наименьшую длину имеет чебышевский переход, однако его точный расчет затруднителен в связи с необходимостью решения сложного интегрального уравнения. Поэтому в

литературе приводятся табулированные значения величин чебышевского перехода, что значительно затрудняет расчет.

Плавный компенсационный экспоненциальный переход обладает оптимальными свойствами, приближающими его к чебышевскому переходу. При этом его структура описывается простейшими тригонометрическими формулами (1).

$$Z_{\text{плав}}(y) = Z_{\epsilon 1} \cdot e^{\nu \cdot \left(y + a1 \cdot l \cdot \sin\left(\frac{2\pi y}{l}\right) \right)}, \quad (1)$$

где $\nu = \frac{1}{l} \cdot \ln(Z_{12})$ – коэффициент экспоненциальности плавного перехода,

$Z_{12} = \frac{Z_{\epsilon 2}}{Z_{\epsilon 1}}$ – отношение начального и конечного значения волновых

сопротивлений, соответственно: $Z_{\epsilon 1} = 50$, $Z_{\epsilon 2} = 120 \pi$,

$a1$ – коэффициент степени экспоненциальности функции вычисляется из соотношения:

$$1 + 2\pi \cdot a1 \frac{\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2}{\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2 - \pi^2} = 0. \quad (2)$$

В результате расчета плавного компенсационного экспоненциального перехода получены зависимость волнового сопротивления и зависимость коэффициента отражения вдоль щели антенны (рис. 3).

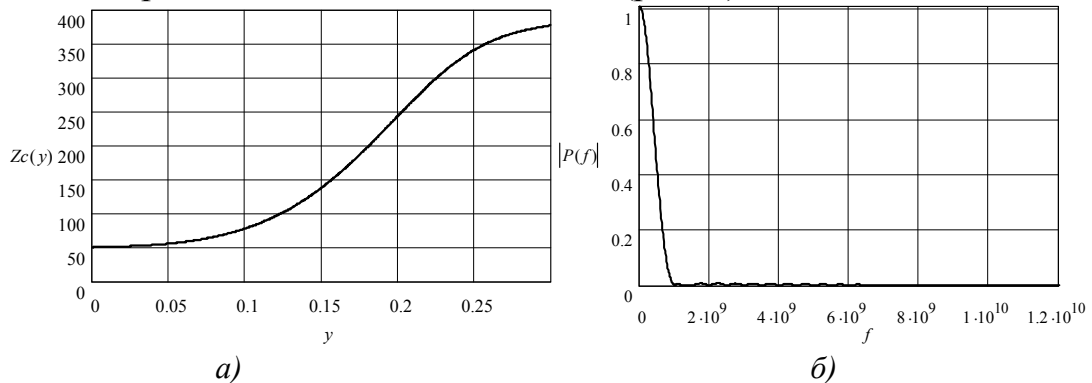


Рисунок 3 — Зависимость волнового сопротивления (а) и зависимость коэффициента отражения вдоль щели антенны (б) с компенсационным экспоненциальным профилем

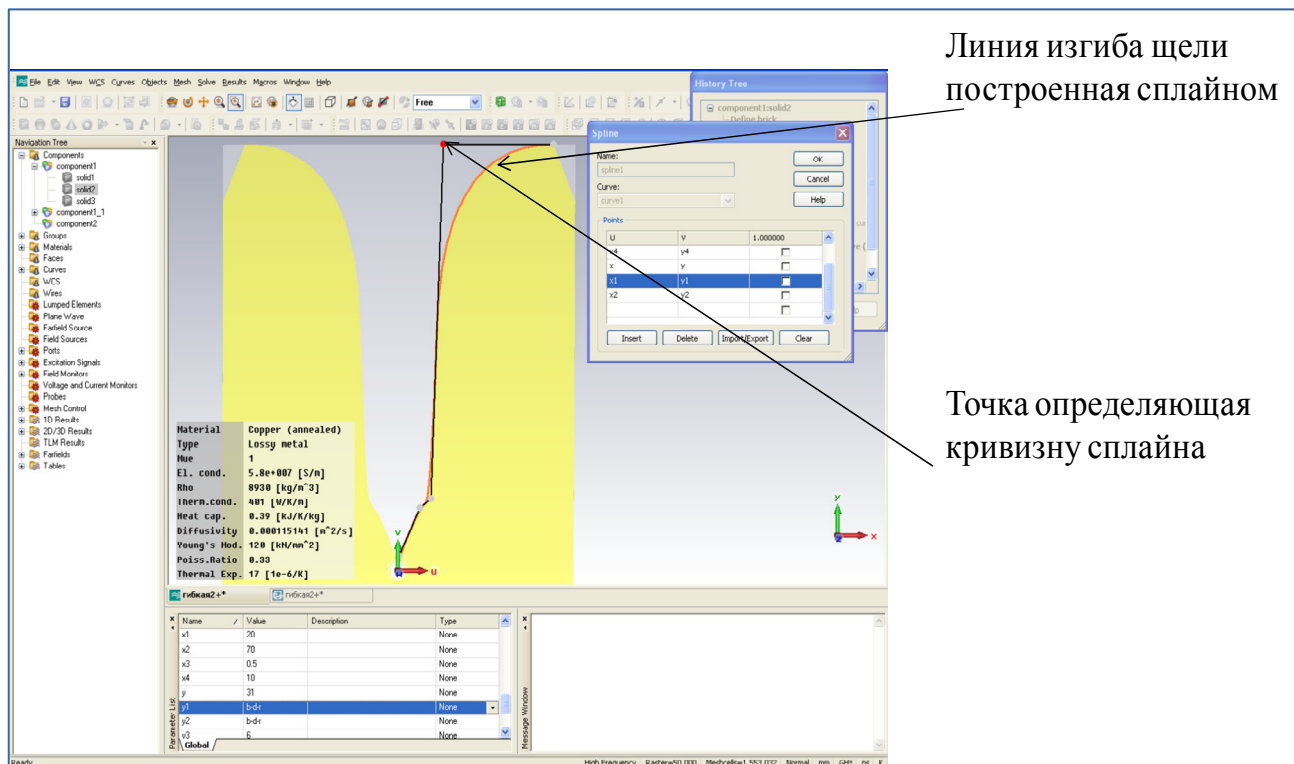
Исходя из условия равенства волновых сопротивлений линии передачи и плавного компенсационного перехода (3), решая уравнение относительно $H(y)$, рассчитывается расстояние вдоль щели антенны от разъема до раскрыва (рис. 5).

$$60 \cdot \left(\ln \frac{4H(y)}{D(y)} + \frac{\pi H(y)}{D(y)} \right) = Z_{\epsilon 1} \cdot e^{\nu \cdot \left(y + a1 \cdot l \cdot \sin\left(\frac{2\pi y}{l}\right) \right)}. \quad (3)$$

Таким образом, в результате расчета получены значения, определяющие кривизну щели, согласующей волновое сопротивление входа антенны с сопротивлением свободного пространства.

Учитывая расчетные данные, построена электродинамическая модель

щелевой антенны с использованием пакета CST STUDIO SUITE (рис. 4).



инструмента *spline* (линия, использующая интерполяцию сплайном), а точка определяющая кривизну задана параметрически для обеспечения возможности дальнейшей оптимизации параметров антенны. На рис. 5 показаны результаты электродинамического моделирования антенны.

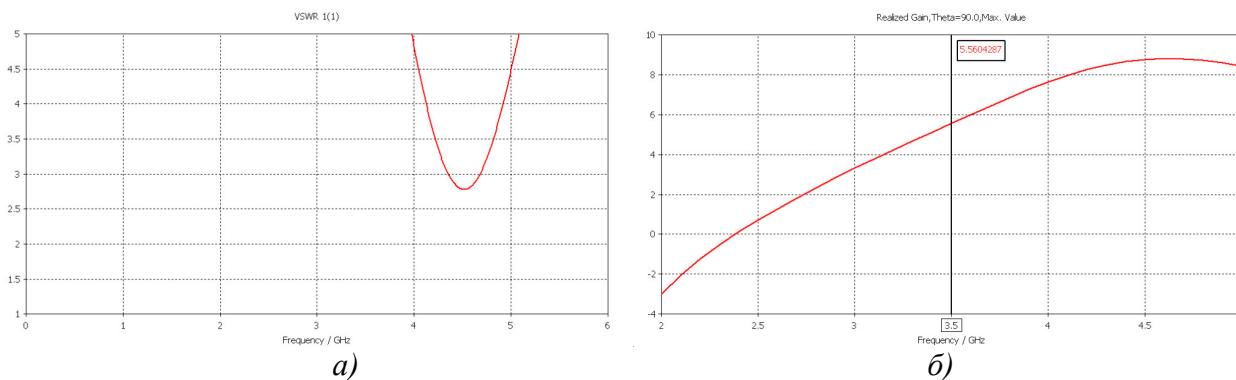


Рисунок 5 — Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты (а) и зависимость коэффициента усиления от частоты (б) модели щелевой антенны

Из рис. 5, а видно, что коэффициент стоячей волны щелевой антенны имеет минимальное значение 2,7 на частоте 4,5 ГГц, а среднее значение коэффициента усиления в полосе 2 – 5 ГГц (рис. 5, б) составляет 4 дБ, что не является оптимальным.

Для улучшения параметров антенны необходимо проводить оптимизацию ее параметров с использованием в качестве критерия оптимизации – максимума коэффициента усиления в полосе частот 2 – 5 ГГц. Параметрами оптимизации должны являться координаты X и Y точки, определяющей кривизну сплайна, что является направлением дальнейших исследований.

Литература

1. Зайцев А. В., Битаев Е. С. Измерение диаграммы направленности сверхширокополосных антенн импульсным методом // Материалы XVII военно-научной конференции. Ч. 3. Смоленск, ВА ВПВО ВС РФ, 2010.
2. Битаев Е. С., Амозов Е. В. Формирование диаграммы направленности равноамплитудной печатной антенной решеткой // Математическая морфология. Том 10. Выпуск 2. 2011.
3. Зайцев А. В., Битаев Е. С., Амозов Е. В. Способ формирования специального амплитудного и фазового распределения в системе питания СШП линейной печатной антенной решетки // Материалы 67-й Всероссийской конференции с международным участием «Научная сессия, посвященная дню радио (RDC-2012)».

*П.Е. Данилов, д. т. н., проф.; В.А. Барышников, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Для крановых механизмов наиболее широко используются асинхронные электроприводы с недорогой и привычной для обслуживания релейно-контакторной системой реостатного управления, хотя они уже не удовлетворяют современным требованиям.

Бурное развитие асинхронных электроприводов с частотным управлением послужило основой для разработки частотных электроприводов и для крановых механизмов. Однако их массовое внедрение осложнено рядом факторов:

– преобразователи частоты формируют напряжение на двигателе с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при которой амплитуда напряжения на клеммах двигателя достигает 1500В, что способствует ускоренному старению и пробоем изоляции стандартных крановых двигателей раньше срока их службы;

– требуется установка изолированных подшипников в двигателях, которые исключали бы протекание через них наводимых токов, в противном случае происходит разогрев колец подшипников и их заклинивание.

Эти факторы проявляются тем сильнее, чем больше мощность двигателя, и при мощности свыше 18 кВт необходимо применять специальные двигатели с изолированными подшипниками и изоляцией более высокого класса, что резко увеличивает стоимость электропривода.

В связи с этим, например, современные башенные краны оборудуются частотными электроприводами с серийными крановыми двигателями, в основном, для механизмов небольшой мощности: передвижения, поворота и др.

При этом ради уменьшения стоимости крана используют, как правило, более простые схемы, не предусматривающие возможность рекуперации энергии в сеть в тормозных режимах (при торможении, спуске груза), что ведет к увеличению расхода электроэнергии в процессе эксплуатации крана.

Для подъемных механизмов частотный электропривод оборудуется специальными двигателями (обычно при мощности свыше 18 кВт) и выполняется по желанию заказчика, так как его серийное применение существенно увеличивает стоимость крана и снижает его конкурентоспособность на рынке.

Необходимость разработки для крановых установок более дешевых электроприводов, использующих отечественное электрооборудование и не уступающих по своим регулировочным свойствам электроприводам зарубежных фирм, подтвердилась в связи с возникшей проблемой импортозамещения в различных отраслях страны.

Весьма перспективным в этом отношении является асинхронный электропривод с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора, обеспечивающий в замкнутых системах с различными обратными связями необходимое регулирование координат электропривода [1-3]. Проведенные исследования таких электроприводов, в том числе авторами статьи, были посвящены, в основном, системам без рекуперации энергии в сеть. В работах, посвященных системам с рекуперацией энергии, инвертор рассматривался как управляющий элемент, и сам привод назывался «асинхронно-вентильный каскад с импульсным регулированием». Как показали последние исследования [4], полная передача управления асинхронным электроприводом импульсному регулятору при сохранении за инвертором лишь функции инвертирования энергии в сеть расширяет возможности таких электроприводов и область их применения.

Схема асинхронного электропривода с импульсным регулятором и инвертором в цепи выпрямленного тока ротора приведена на рис.1,*а*.

В роторную цепь асинхронного двигателя M включен неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель UZ , выход которого подсоединен к импульсному регулятору ИР (транзистор с изолированным затвором $IGBT$) и через отсекающий высокочастотный диод VD к зажимам 1-2 на входе ведомого инвертора (рекуператора) UV с LC -фильтром и трансформатором T .

Коммутация ИР в релейном режиме позволяет регулировать среднее значение тока ротора импульсным методом и, следовательно, регулировать момент, скорость и другие координаты электропривода.

Формирование желаемых механических характеристик и переходных процессов рассматриваемого асинхронного электропривода осуществляется с помощью системы автоматического регулирования (САР) и сигналов различных обратных связей u_{oc} по регулируемым координатам.

Наличие выпрямителя в роторе дает возможность сравнительно просто выделить сигнал, близкий к значению скольжения двигателя, и реализовать в замкнутой системе получение жестких механических характеристик электропривода без применения тахогенератора. Применение двухконтурной системы управления, содержащей внутренний релейный контур тока и внешний контур скольжения, позволяет формировать ток и момент двигателя в переходных режимах, осуществляя, например, пуск и торможение с заданным ускорением, ограничением рывка и т.д. На ее основе можно построить и систему с регулированием положения.

Задачей инвертора в этой схеме является только рекуперация энергии в сеть, и он работает с максимальным значением ЭДС, практически не оказывая влияния на работу импульсного регулятора.

Двигатель может работать в любых режимах: двигательном или тормозных. По схеме рис.1,*а* он может работать двигателем или в режиме торможения противовключением (реверсирование фаз на схеме не показано).

В ряде случаев может потребоваться использование режима динамического торможения с самовозбуждением. Тогда схема принимает вид, представленный на рис.1,*б*. В двигательном режиме статор получает питание через контактор *КМ*, заблокированный с контактором *КМД*, который должен быть разомкнут в это время с целью исключения попадания напряжения сети в роторную цепь. Для получения тормозного режима двигатель с помощью контактора *КМ* отключается от сети, а с помощью контактора *КМД* собирается схема динамического торможения с самовозбуждением.

В целях уменьшения доли выпрямленного тока ротора I_d , поступающей из ротора в статорную обмотку, предусмотрен резистор *R*, который при размыкании *КМ* и замыкании *КМД* подключается параллельно статорной обмотке.

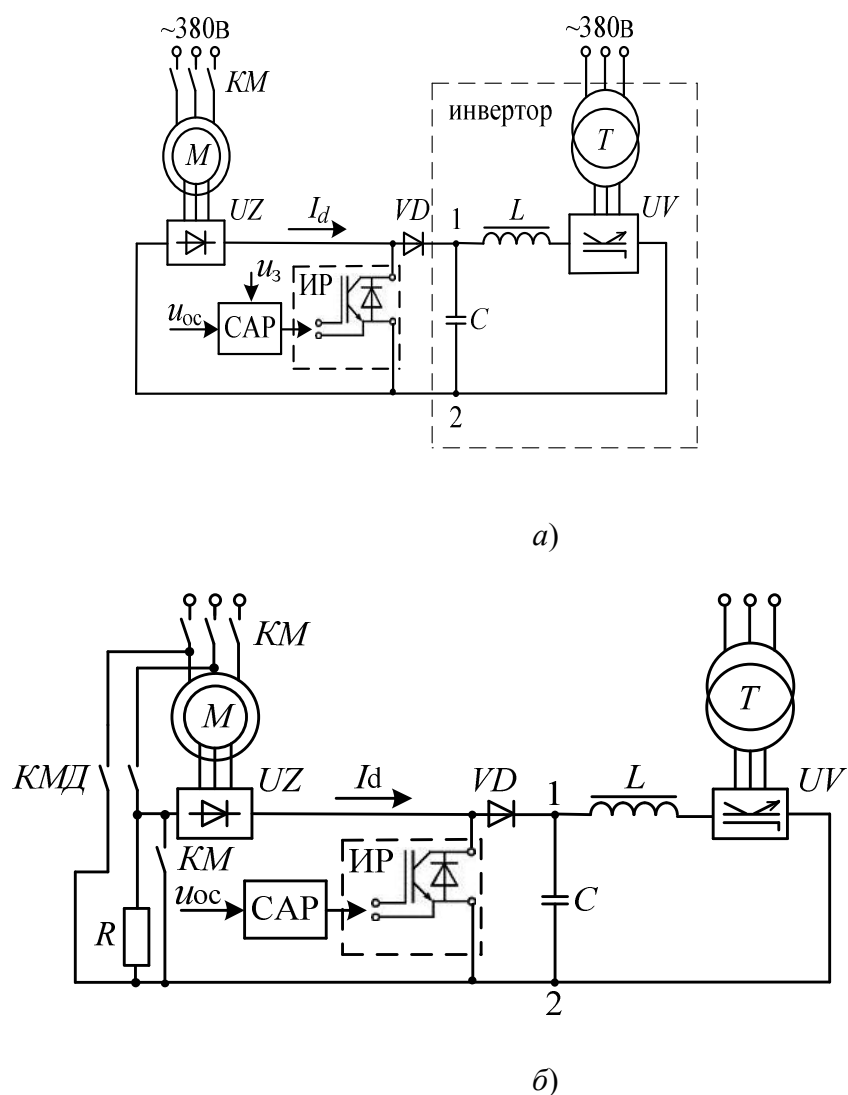


Рисунок 1 — Асинхронный электропривод с импульсным регулятором и рекуператором энергии в сеть

Для многодвигательных крановых электроприводов (механизмы

передвижения кранов, поворота и др.) целесообразно использовать схему многодвигательного асинхронного электропривода с электрической связью по цепи выпрямленного тока роторов и общим импульсным регулятором (рис.2).

Электропривод состоит в общем случае из n асинхронных двигателей $M1, M2, \dots, Mn$, в роторные цепи которых включены n неуправляемых трехфазных мостовых выпрямителей $UZ1, UZ2, \dots, UZn$. Выходы выпрямителей подключены параллельно друг другу на общую цепь выпрямленного тока роторов, которая через отсекающий диод VD подключается к зажимам 1,2 инвертора UV и с какой-то частотой и скважностью шунтируется коммутатором UR .

В такой системе с помощью обратной связи по скорости или скольжению может быть сформирована жесткая характеристика пониженной скорости одного из двигателей, который будем называть ведущим, а скорость остальных двигателей согласуется со скоростью ведущего двигателя за счет сравнения выпрямленных напряжений роторов. Для получения заданной пониженной скорости ведущего двигателя $M1$ в блок управления AI подается задающий сигнал $U_{сз}$ и сигналы обратной связи по напряжению U_d и току ротора I_{d1} , с помощью которых формируется обратная связь по скольжению ведущего двигателя.

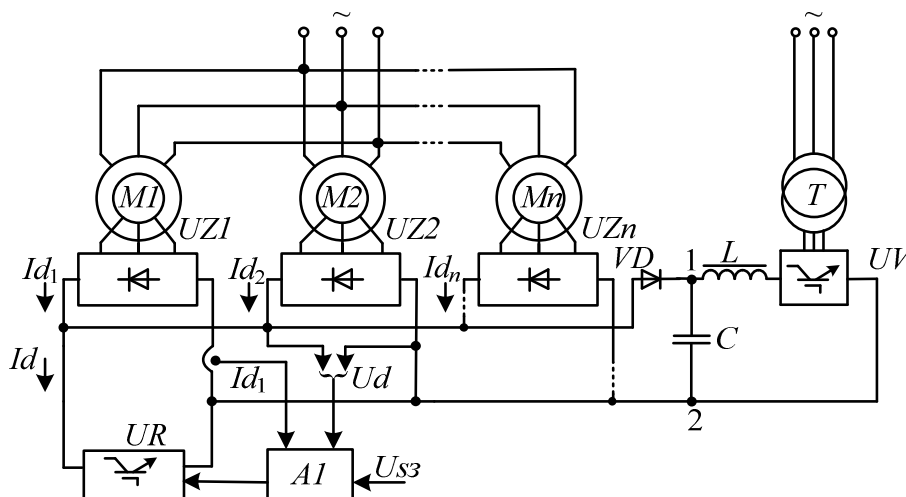


Рисунок 2 — Многодвигательный асинхронный электропривод с общим импульсным регулятором и рекуператором энергии в сеть

Такой электропривод позволяет регулировать скорость в широких пределах, получать устойчивую пониженную скорость, обеспечивающую точную остановку, и осуществлять плавный пуск и торможение при определенном согласовании скоростей вращения электродвигателей за счет параллельного включения роторных выпрямителей. Степень согласования скоростей двигателей в такой системе зависит от соотношения нагрузок на валах двигателей и параметров механической части электропривода и, как правило, обеспечивает необходимые требования, предъявляемые к крановому электроприводу.

Приведенные на рис.1 и рис.2 схемы относятся предположительно к

электроприводу одного конкретного механизма, например, рис.1,*а* – к электроприводу грузовой тележки или подъема стрелы, рис.1,*б* – к электроприводу грузовой лебедки, рис.2 – к электроприводу передвижения или поворота крана.

Каждая из этих схем электроприводов, как показано на рис.1 и рис. 2, имеет свой инвертор, т.е. примерно так же, как это надо делать при частотно-управляемом крановом асинхронном электроприводе, когда каждый двигатель должен управляться от отдельного преобразователя со своим инвертором.

Поскольку в рассматриваемых схемах работа импульсного регулятора практически не связана с работой инвертора, а за инвертором сохраняется лишь функция инвертирования энергии в сеть, то становится очевидным, что для выполнения этой функции всеми асинхронными электроприводами с импульсным регулятором в роторной цепи, установленными на данном кране, достаточно одного общего инвертора. При этом зажимы 1,2 инвертора превращаются, по существу, в общие шины, к которым согласно рассмотренным схемам присоединяются роторные цепи всех асинхронных электроприводов с импульсным регулятором.

Асинхронный электропривод с импульсным регулятором и инвертором в цепи выпрямленного тока ротора имеет хорошие регулировочные свойства и в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электроприводу со стороны главных механизмов крановых установок. Вместе с тем, он гораздо проще и дешевле, имеет лучшие энергетические и массо-габаритные показатели в сравнении с используемыми в настоящее время электроприводами постоянного тока по системе ТП-Д и внедряемыми асинхронными электроприводами с частотным управлением.

Выводы.

Разработанные в Смоленском филиале МЭИ схемы асинхронных электроприводов, управляемые с помощью импульсных регуляторов при сохранении за общим инвертором функции инвертирования энергии,

- улучшают регулировочные свойства и повышают энергетические показатели электроприводов;

- позволяют получить сравнительно простые и недорогие асинхронные электроприводы для главных крановых механизмов на базе отечественного оборудования, внедрение которых в значительной мере способствовало бы решению проблемы импортозамещения в краностроительной отрасли.

Литература

1. Данилов П.Е. Основы теории, исследование и разработка асинхронных электроприводов с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора для крановых механизмов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва. 1989г.
2. Данилов П.Е. Крановый асинхронный электропривод с импульсным регулятором в роторной цепи. Учебное пособие. – Смоленск: филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2005. 92 с.
3. Данилов П.Е. Теория электропривода. [Текст]: монография / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. – Смоленск, 2014. 348 с.
4. Асинхронный электропривод с импульсным регулятором для буровых установок / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.Н. Ёшкин, А.В. Новиков // Журнал нефтегазового строительства. 2015. №3. С. 22-27.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ СШП-СИГНАЛОВ

В настоящее время существует необходимость расширения полосы пропускания радиотехнических систем по различным причинам: увеличение скорости передачи данных, повышения помехозащищенности и так далее. Одним из путей решения это использование сверхширокополосных сигналов, но расчёт антенных устройств для этих сигналов сопряжён с задачей расчёта общепринятых характеристик антенн не в частотной области, а во временной. Рассмотрим решение данной задачи для рупорной антенны. Характеристика направленности (ХН) рупорной антенны, при излучении гармонических сигналов рассчитывается по формулам Е- и Н- плоскостей соответственно [1-3]:

$$E_E = \left[1 + \cos(\theta) \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a_p} \right)^2} \right] \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin(\theta)},$$
$$E_H = \left[\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a_p} \right)^2} + \cos(\theta) \right] \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)}{1 - \left(\frac{2a}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \right)^2},$$

где θ – угол между нормалью к поверхности рупора и направлением на точку наблюдения;

λ – длина волны;

a и b – размеры рупора.

Используя приведенные выражения, определяют геометрические размеры рупора, исходя из требуемой ширины диаграммы направленности. Если же излучаются СШП-сигналы, то в настоящее время в расчетах используют длину волны гармонического сигнала, промодулированного гауссовым импульсом, или пространственную протяженность сигнала $c\tau$. Приведенная методика расчета рупорных антенн является приближенной. Современное развитие вычислительной техники позволяет значительно увеличить точность вычислений при минимальном использовании ресурсов и времени. Поэтому предлагается следующая методика расчета ХН облучателя, основанная на расчете поля антенны во временной области, а следовательно, и определения размеров облучателя.

Начальными условиями служат: ширина диаграммы направленности и используемый сигнал.

Далее рассчитывается поле рупорной антенны в каждой точке пространства. Для этого рассчитывается поле каждой элементарной площадки Гюйгенса:

$$dE_s = \frac{1}{4\pi c r} (1 + \cos \theta) E'_s(t_3) d s, \quad (1)$$

где $E'_s(t_3)$ – первая производная возбуждающего поля в раскрыве рупора с учетом времени запаздывания, затраченного на распространение волн от элементарной площадки на поверхности раскрыва рупора $d s$ до точки наблюдения.

Тогда напряженность поля в любой точке пространства рассчитывается согласно выражению [4]

$$E = \frac{1 + \cos(\theta)}{4\pi c r} \int_{-\frac{a_p}{2}}^{\frac{a_p}{2}} \int_{-\frac{b_p}{2}}^{\frac{b_p}{2}} E'_s\left(t - \frac{r'}{c}\right) dx dy, \quad (2)$$

где a_p и b_p – размеры раскрыва рупора;

r' – расстояние от элементарной площадки на поверхности раскрыва рупора $d s$ до точки наблюдения.

Расстояние от элементарной площадки на поверхности раскрыва рупора до точки наблюдения равно

$$r' = R - \sin(\theta) \cdot (x \cdot \cos(\phi) + y \cdot \sin(\phi)), \quad (3)$$

где R – расстояние от рупорной антенны до точки наблюдения,

θ и ϕ – угловые координаты сферической системы координат.

Находится мгновенная мощность ЭМП как квадрат электрической напряженности поля, поделенной на сопротивление свободного пространства. Интегрирование по времени с учетом запаздывания даст мощность всего поля, а извлечение квадратного корня из полученного и нормирование относительно максимума позволят получить диаграмму направленности рупорной антенны.

Изменяя a_p и b_p , добиваются требуемой ширины диаграммы направленности (ДН) рупора с необходимой точностью.

Значения угловой координаты ϕ , равной 0 и $\pi/2$, соответствуют ДН в Н- и Е-плоскости соответственно.

Для проверки правильности предлагаемой методики рассчитаем ДН рупорной антенны при излучении гармонического сигнала классическим способом и по предлагаемой методике. На рис. 1 показаны ДН рупорной антенны, пунктирной линией показана ДН, рассчитанная выше описанным классическим способом, а непрерывная ДН, рассчитанная предложенным методом. Расхождение результатов расчета составило менее 0,1 % в области главного лепестка.

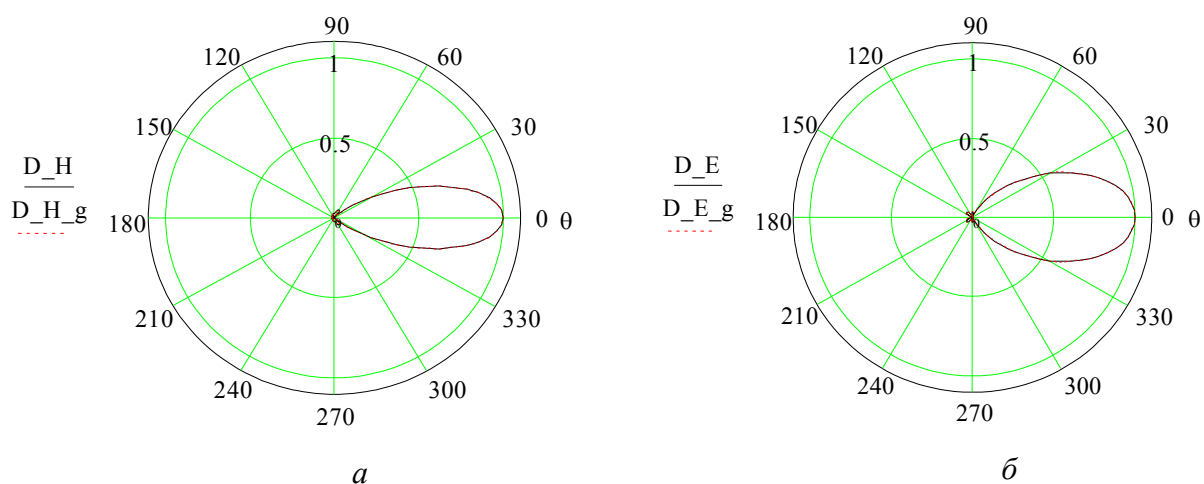


Рисунок 1 — Расчетные диаграммы направленности облучателя:
 — — — согласно методике расчета для СШП-сигналов;
 — согласно методике расчета для гармонических сигналов

Используя предлагаемую методику, рассчитаем ДН рупорной антенны при излучении СШП-сигналов. В качестве возбуждающего сигнала используем гармонический сигнал, промодулированный гауссовым импульсом (длительностью $\tau = 4 \cdot 10^{-10}$ с), длина волны гармонического сигнала $\lambda = 0,046$ м. На рис. 2 приведен сигнал в раскрыве облучателя.

Тогда, согласно выражениям 1–3, ДН рупорной антенны будет иметь вид, представленный на рис. 3.

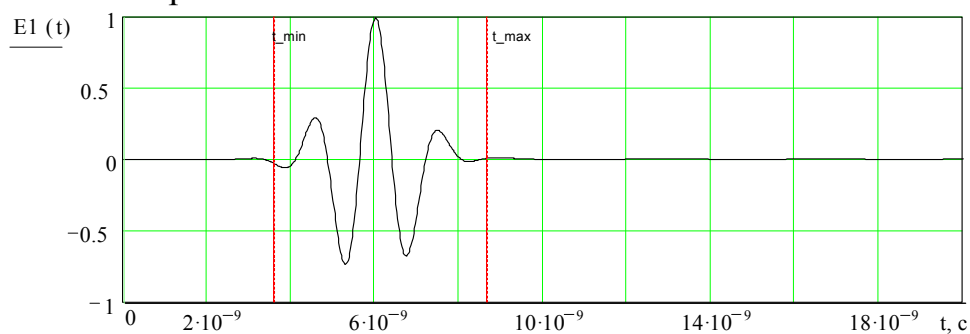


Рисунок 2. — Сигнал в раскрыве облучателя

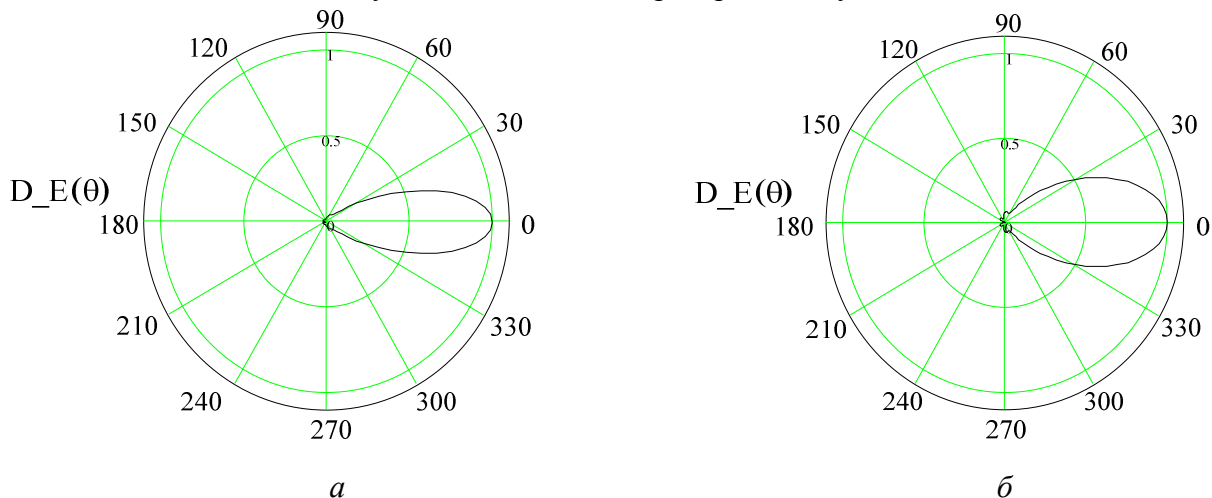


Рисунок 3. — Расчетные диаграммы направленности облучателя:
 а – Н-плоскость; б – Е-плоскость

Приведенные уравнения позволяют получить значения характеристики направленности рупорной антенны при излучении (приёме) сверхширокополосных сигналов во временной области и позволяют рассчитывать размеры раскрыва рупорных антенн для более сложных антенных устройств, к примеру, зеркальных антенн.

Литература

1. Айзенберг Г. З. Антенны УКВ: В 2-х ч., Ч. 1. М., Связь, 1977. 384 с.
2. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. 2-е изд. перераб. и доп. М., Радио и связь, 1988. 440 с.
3. Гольдштейн Л. Д. Электромагнитные поля и волны. 2-е изд. перераб. и доп. М., Сов. радио, 1971. 664 с.
4. Халла А.В., Андреев О.Н., Денисенко А.Ю., Скачков С.А. Расчёт импульсной зеркальной антенны. // Достижения вузовской науки: сборник материалов XXI Международной научно-практической конференции. Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 256 с.

М.А. Кисляков, ст. преп.; В.А. Чернов, к.т.н., доц.

ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОПИТКИ СТАТОРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

На сегодняшний день почти во всех отраслях промышленности технологические процессы не могут быть реализованы без использования электродвигателей, безаварийная работа которых обеспечивает высокие экономические показатели производства. Надежность работы электрического оборудования определяется состоянием изоляционной системы. Устойчивость к динамическим нагрузкам электрических машин в значительной мере определяется межвитковой изоляцией обмоток, качество которой в свою очередь зависит от степени пропитки.

В данной работе представлены результаты исследования диагностических параметров, характеризующих абсорбционные процессы в изоляционной системе статора электрических машин, на примере двигателей марки А4-450х-4. Исследования проводились на вновь выпускаемом оборудовании в два этапа: 1) до выполнения процедуры пропитки конструкции статора электроизоляционными компаундами; 2) после процедуры пропитки. В первом случае межвитковая изоляция обычно формируется на основе стекломикаленты или стеклослюдинитовых материалов, имеющих волокнистую структуру, и, следовательно, содержащих большое число газовых (воздушных) пор. В процессе пропитки поры заполняются связующими (компаундами), представляющими собой полимерные материалы, и в результате межвитковая статорная изоляция становится единой сплошной конструкцией.

Для исследования процессов поляризации, протекающих в такой изоляционной системе, авторами использовался программно-аналитический комплекс С.А. 6547. Отличительной особенностью данного прибора является возможность измерять очень малые по величине токи (порядка 10^{-12} А, с погрешностью не более 5%). Кроме того, С.А. 6547 в автоматическом режиме позволяет контролировать не только отдельные параметры изоляции (R_{60} , DAR , PI , DD), но и получать поляризационную кривую $R = f(t)$ в виде ряда ее дискретных значений.



Рисунок 1. — Изменение сопротивления изоляции в процессе пропитки



Рисунок 2. — Изменение значений коэффициента диэлектрической абсорбции

Анализ значений параметров, полученных в ходе испытаний, показал, что некоторые из них очень чувствительны к изменению структуры диэлектрической среды. Так в результате выполнения процедуры пропитки сопротивление межвитковой изоляции (R) возрастает в десять и более раз (рис. 1); коэффициент диэлектрического разряда (DD) резко уменьшается и в результате его значения не превосходят 1 (рис. 2).

Большой интерес представляет анализ поляризационной зависимости ($R = f(t)$), на которой наблюдаются существенные флуктуации значений сопротивления, особенно для не пропитанной изоляции (рис. 3). Наличие такого рода флуктуаций усложняет процедуру анализа поляризационной зависимости. Мгновенные значения сопротивлений обусловлены не только развитием процессов поляризации, но и процессами микропробоев, возникающих внутри газонаполненных пор, имеющих особенно большую концентрацию в непропитанной изоляции. Исходя из того, что С.А. 6547 на протяжении всего времени измерения поддерживает величину измерительного напряжения постоянным, имеем:

$$I(t) = \frac{U}{R(t)} = I_{пол}(t) + \Delta I_{фл}(t) + I_{ум}, \quad (1)$$

где $I_{пол}(t)$ – ток поляризации, $\Delta I_{фл}$ – флуктуационный ток, $I_{ум}$ – ток утечки.

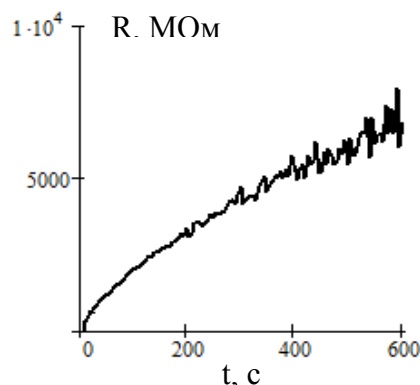


Рисунок 3. — Экспериментальная зависимость $R = f(t)$ не пропитанной изоляции

В выражении (1) особый интерес представляют два тока – ток поляризации и токовая неустойчивость (флуктуационный ток), обусловленный

развитием микропробоев. Первый может быть найден в результате аппроксимации зависимости $I(t) - I_{ym} = I_{пол}(t)$ (рис. 4), на его основе строится спектр токов поляризации [1] и определяется его основная характеристика – величина обобщенного индекса поляризации (TPI) [2].

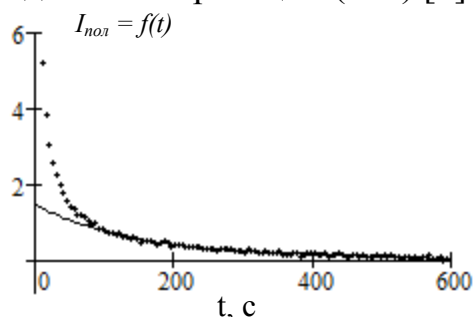


Рисунок 4. — Определение тока поляризации

Анализ значений величины обобщенного индекса поляризации показывает, что TPI в результате пропитки существенно возрастают (рис. 5).



Рисунок 5. — Изменение значений TPI в процессе пропитки изоляции

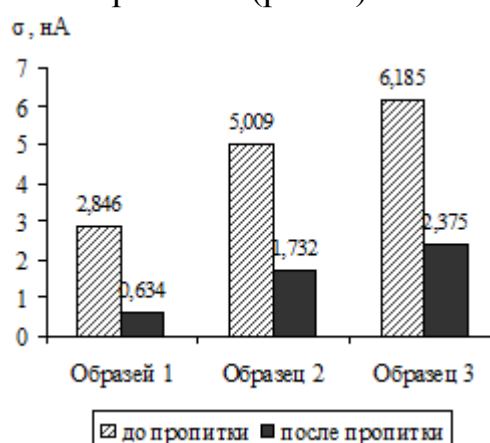


Рисунок 6. — Изменение значений токовой нестабильности изоляции в процессе пропитки

В качестве количественной оценки токовой нестабильности $\Delta I_{фл}$ в выражении (1) предлагается использовать среднеквадратическое отклонение тока:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i(t) - I_{ym} - I_{пол}(t))^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где n – количество дискретных значений, получаемых в ходе измерений.

Данная величина является чувствительной к изменениям, происходящим в изоляционном промежутке в результате выполнения пропитки (рис. 6), что может свидетельствовать о заполнении части пор.

Таким образом, проведенные исследования позволяют выделить некоторые диагностические параметры изоляционной системы, наиболее чувствительные к изменению структуры диэлектрика в результате процесса пропитки – R , DD , TPI , σ . Данные параметры, при выполнении дополнительных научных и теоретических исследований, могут быть положены в основу построения системы менеджмента качества продукции электромашиностроительных заводов.

Литература

1. Чернышев В.А., Чернов В.А., Кисляков М.А. Оценка состояния силовых трансформаторов на основе исследования поляризационных процессов // Электрика. 2009. №12. С. 26-30.
2. Зенова Е.В., Чернышев В.А., Тагаченков А.М., Кисляков М.А. Формирование обобщенного индекса поляризации как параметра контроля состояния изоляционных промежутков. // Электротехника. 2010. №11. С. 48-52.

*К.К. Крутиков, к.т.н., доц; В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФБГОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АГРЕГАТОВ СЕКЦИЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ ОБЕСТОЧИВАНИИ И САМОЗАПУСКЕ

Повышенные требования к надежности оборудования собственных нужд атомных электростанций создают ряд непростых проблем. В частности, остается актуальной задача управления выбегом и самозапуском параллельно работающих асинхронных приводов насосных агрегатов секций рабочего и надежного питания 6 кВ при аварийном отключении вводного выключателя секции и его повторном включении. Например, для двух параллельно работавших двигателей даже одинаковой мощности, но разных нагрузках на валу или моментах инерции, выбег переводит один из них в генераторный режим, а второй – в двигательный с взаимным влиянием как электромагнитных, так и механических переменных. При этом образуется автономный последовательный контур из параллельно работавших двигателей. Если нагрузка рассматриваемой секции содержала, помимо двигательной, еще и статическую нагрузку, она остается присоединенной. На зажимах входного выключателя со стороны питания остается напряжение сети, а со стороны нагрузки формируется выходное напряжение, определяемое электромагнитными и электромеханическими процессами в контуре с учетом оставшегося статического балласта. Процессы на стороне, отключенной от сети, протекают при переменной скорости двигателей, т.е. при переменной частоте, и могут носить сложный характер биений.

Задача повторного включения должна решаться так, чтобы вызвать минимальное возмущение для всех объектов в схеме при минимальной длительности паузы в питании.

Есть несколько методов решения этой задачи [1, 2].

1. При известных электрических и механических параметрах контура нагрузки можно с учетом допущений в аналитической форме получить решение системы дифференциальных уравнений свободного процесса при выбеге, в том числе и напряжение на зажимах секции. Из его анализа можно предсказать ряд моментов времени, когда напряжение на отключенных зажимах секции становится в фазе с одноименным напряжением сети. Тогда можно формировать команду на повторное включение сети в первый из таких моментов, если позволит быстроедействие системы, или в ближайший из последующих.

2. Можно следить за мгновенными напряжениями на ножах вводного

выключателя между входом и нагрузкой. Повторное включение производить по некоторым критериям, обеспечивающим минимальное возмущение в целом в восстановленной трехфазной сети.

Хотя вторая методика существенно лучше первой, но при этом обе они никак не воздействуют на процесс выбега, а лишь наблюдают за ним.

Заманчиво поставить вопрос так: нельзя ли активно влиять на процесс выбега, чтобы он приобрел более благоприятные свойства - уменьшал механическую и электромагнитную колебательность, симметрировал процесс по фазам, не перегружал оборудование сверх номинального режима.

Рассмотрим фрагмент типичной схемы электроснабжения собственных нужд атомной станции, где представлены (рис.1): сеть 6 кВ с реактивностью 0.16 Ом, вводной выключатель, два одинаковых 4-полюсных асинхронных короткозамкнутых двигателя по 2 МВт с кабельными линиями $3 \cdot 150 \text{ мм}^2$ длиной 640 м. Нагрузка - вентиляторная: 20% от номинальной для верхнего и 100% - для нижнего двигателей.

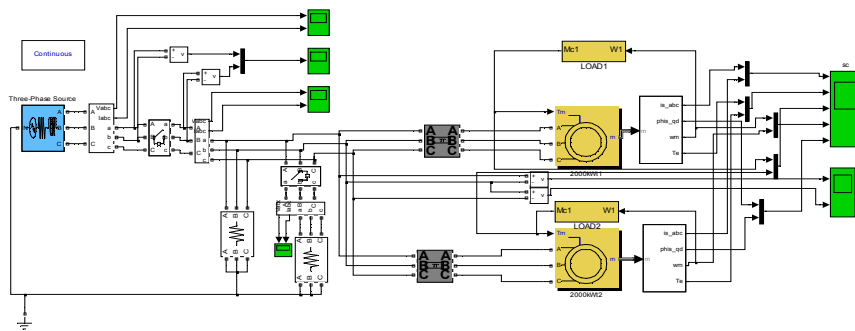


Рисунок 1.

После пуска оба двигателя находятся в исходном режиме. В начальный момент вводной выключатель под воздействием сигнала защиты выключается, и начинается выбег двигателей с взаимным влиянием электромагнитных и механических переменных.

В модели предусмотрено наблюдение напряжения, организация вариантов, когда на стороне нагрузки на время выбега вспомогательным выключателем включается трехфазный резистивный балласт для снижения колебательности выбега. Мощность резисторов может быть определена как разумный процент (10%) от суммарной активной мощности двигателей. Также можно устанавливать повторное включение в любой момент времени, как благоприятный, так и неблагоприятный.

Вначале рассмотрен один из неблагоприятных вариантов повторного включения нагрузки. При этом резистивный балласт и вспомогательный выключатель отсутствуют. Неблагоприятный момент 0.228 с для повторного включения основного выключателя (начало самозапуска) установлен из наблюдения за напряжениями сети и нагрузки, когда они впервые одновременно принимают нулевое значение, находясь в противофазе (см.рис.2).

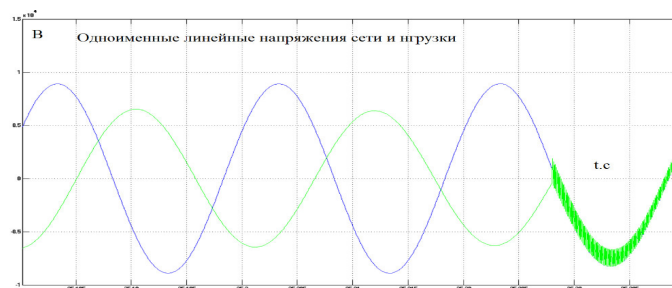


Рисунок 2.

Процесс для основных переменных показан осциллограммами рис.3.

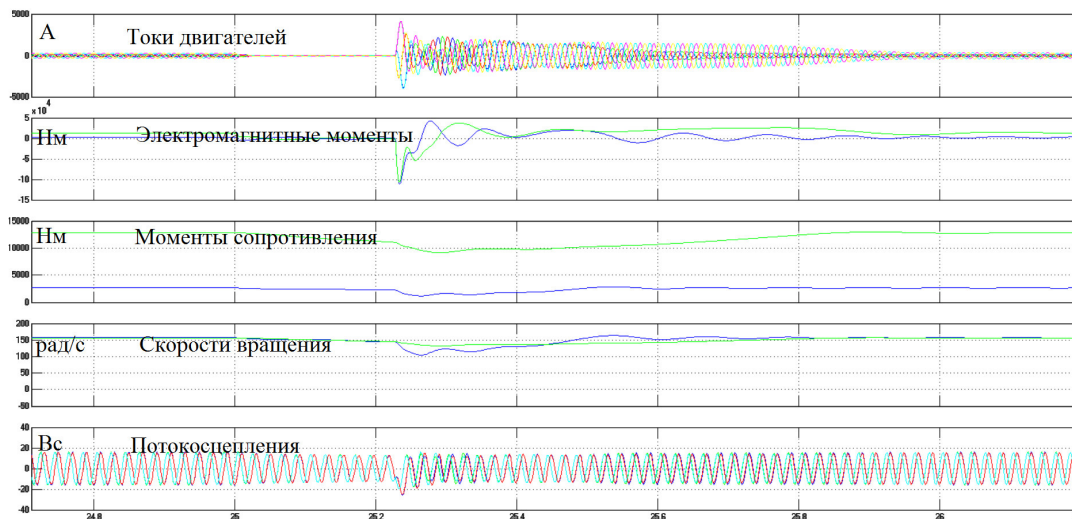


Рисунок 3.

Из анализа данного варианта выбега следует: провал напряжения сети нагрузки на этапе выбега перед самозапуском составляет 69%, начальные броски токов при самозапуске имеют более чем 7-кратные значения, а их характер в первые 10 периодов – биения, потокосцепления машин имеют начальный 1.5-кратный бросок, двигатель с большей нагрузкой на валу медленнее восстанавливает скорость (более 1 с), имея в этом режиме большие токи.

Второй опыт отличается изменением начала процесса самозапуска на самый благоприятный, более поздний момент 0.338 с, когда напряжения сети и нагрузки впервые при одновременном нулевом значении становятся в фазе.

В этом случае: провал напряжения сети на этапе выбега перед самозапуском составляет 65%, броски токов при самозапуске становятся более плавными с меньшими амплитудами, хотя характер тока менее нагруженного двигателя в первые 10 периодов – по-прежнему - биения, потокосцепления машин неизменны, двигатель с большой нагрузкой на валу быстрее восстанавливает скорость (менее 0.5 с), оставаясь в двигательном режиме с меньшими токами.

В последующем опыте на этапе выбега вспомогательным ключом вводится трехфазный резистивный балласт по 100 Ом на фазу. Повторное включение основного выключателя и одновременное выключение вспомогательного производится в неблагоприятный момент 0.413 с, когда напряжения сети и нагрузки впервые при нулевых значениях оказываются в противофазе.

В этом варианте: провал сети нагрузки на этапе выбега перед самозапуском

составляет 65%, начальные броски токов при самозапуске имеют более чем 6-кратные значения, а их характер в первые 10 периодов - биения, потокосцепления машин имеют начальный почти двухкратный бросок, двигатель с большой нагрузкой на валу медленнее восстанавливает скорость (более 1 с), оставаясь в двигательном режиме с большими токами.

Приведем результаты еще одного опыта с тем же резистивным балластом в 100 Ом, отличающегося от предыдущего изменением времени самозапуска на более поздний и благоприятный момент 0.34 с, когда напряжения сети и нагрузки впервые при нулевых значениях становятся в фазе.

При этом: провал напряжения сети на этапе выбега перед самозапуском становится меньше (составляет 75%), броски токов при самозапуске становятся более плавными с меньшими амплитудами, хотя характер тока менее нагруженного двигателя в первые 10 периодов – биения, потокосцепления машин почти неизменны, двигатель с большой нагрузкой на валу быстрее восстанавливает скорость (менее 0.5 с), оставаясь в двигательном режиме с меньшими токами.

В данном докладе предлагается методика с применением наблюдения за одноименными напряжениями сети и нагрузки на этапе выбега двигателей после аварийного отключения сети и введением рекомендуемого резистивного балласта. Повторное включение сети рекомендуется осуществлять в благоприятный момент перехода наблюдаемых напряжений через ноль при их синфазности.

Компьютерная проверка в Matlab предлагаемой методики может быть выполнена на разработанной модели одной из блок-секций собственных нужд САЭС, например, 1РА-1РНА (см.рис.4).

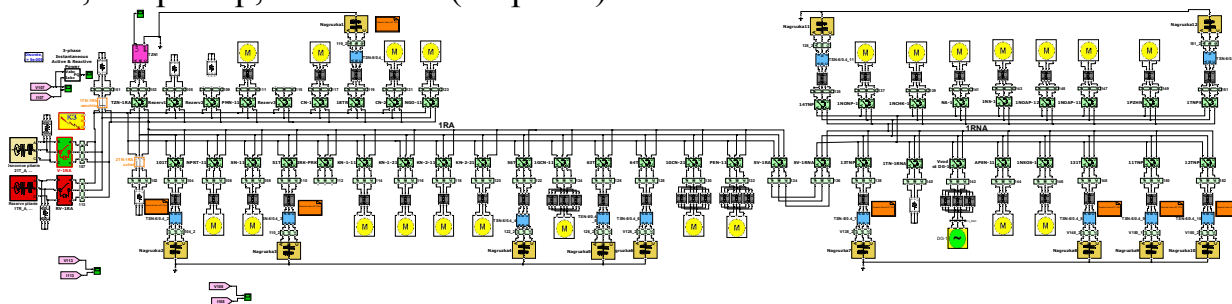


Рисунок 4.

Здесь показаны две секции: рабочего питания (1РА) и надежного питания (1РНА), связанные межсекционными выключателями.

В нормальных условиях обе секции питаются от мощного трансформатора (рабочего или резервного) через соответствующие вводные выключатели. Дизель-генератор секции надежного питания при этом не работает.

Секция 1РА (слева) имеет 9 двигателей насосов разной мощности, из которых – самые ответственные и мощные: в «грязном контуре» - два ГЦН по 5500 кВт, в «чистом контуре» - один ПЭН (питательный электронасос) 5000 кВт; два двигателя других насосов по 1600 кВт; остальные двигатели механизмов собственных нужд имеют меньшую мощность (800, 630, 315, 250, 200 кВт); статическая нагрузка секции состоит из трансформаторов различной мощности

и назначения.

Секция 1РНА в нормальных рабочих режимах также питается от секции рабочего питания. В нее входят также 9 двигателей насосов разной мощности (1250 кВт и менее) и своя статическая нагрузка в виде трансформаторов.

Все нагрузки подключаются индивидуальными выключателями к шинам секций с помощью кабельных линий соответствующей длины и сечением жил 150 мм². Двигатели мощностью более 2 МВт, а также дизель-генератор секции надежного питания подключаются тремя параллельными кабелями.

На этой модели (и ей подобных) предполагается, выделив главные двигательные нагрузки и эквивалентировав иные двигательные и статические, получить материал для выбора оптимальных оперативных команд, уменьшающих негативные эффекты при восстановлении питания нагрузок и самозапуске двигателей.

Литература

1. Фельдман М.Л., Черновец А.К. Особенности электрической части атомных электростанций. -2-е и зд., перераб. И доп. -Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. -172 с.
2. Релейная защита электродвигателей напряжением 6-10 кВ терминалами БМРЗ: методика расчета/ С.А. Гондуров, С.В. Михалев, М.Г. Пирогов, А.Л. Соловьев. – СПб.: ПЭИПК, 2013, 60 с.

*Ю.Д. Кулик, к.т.н., доц.; А.П. Глуздов, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИНДУКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИЕЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

В силовом канале электромеханических систем (ЭМС) преобразуемая энергия в ряде случаев неоднократно может подвергаться преобразованию к более удобному ее виду для дальнейшего использования. На последней стадии для согласования параметров механической энергии получаемой от двигателя с рабочим органом технологической машины обычно используется механический редуктор. Возможны следующие варианты его использования в электроприводе:

- размещается отдельно между двигателем и рабочим органом;
- пристроен к двигателю (имеются соответствующие посадочные места) или встроен, находясь в едином корпусе с двигателем;
- совмещен с электромагнитной частью двигателя, что обуславливает получение новых свойств и показателей качества ЭМС.

Второй вариант улучшает условия компоновки электропривода, позволяя уменьшить массу и габариты. В последнем случае возможны два варианта совмещения электромагнитной части с элементами механической передачи:

- при планетарной передаче электромагнитная часть двигателя совмещается с ней так, что воздействие в передаче осуществляется минуя быстроходное звено, то есть непосредственно на сателлит (одновременно выполняет и функцию ротора, эксцентрично расположенного относительно статора);
- в волновой механической передаче воздействие на гибкий элемент можно осуществить с помощью электромагнитного поля для чего необходимо иметь гибкий магнитопровод, то есть отпадает надобность в механическом

генераторе волн деформации.

В обоих случаях получается не только компактная конструкция совмещенного преобразователя с механическим редуктором, но и решается проблема быстродействия (за счет воздействия в передаче через промежуточное звено минуя быстроходное), что очень важно для ряда задач в современном электроприводе.

На рис. 1. представлен общий вид индукторного двигателя совмещенного с планетарной передачей. При таком решении закон распределения МДС, создаваемый сосредоточенной обмоткой статора, должен быть локализован в рабочей зоне двигателя, чтобы преобразование энергии происходило на восходящей ветви индуктивного параметра, что обеспечивает двигательный режим работы. Последнее возможно, когда питание обмотки осуществляется импульсной системой токов с ограниченной длительностью их протекания. Самым простым способом формирования такой системы токов является использование вентильной самокоммутации от синусоидального источника.

На рис. 2. представлен общий вид двигателя с волновой передачей для уравнивания сил магнитного тяжения в котором формируется два периода (повторения в схеме обмотки) результирующей МДС.

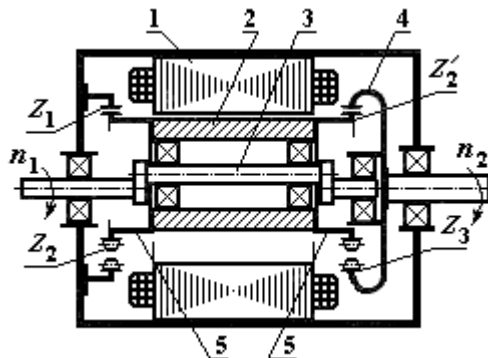


Рисунок 1. — Общий вид конструктивной схемы двигателя с планетарной передачей:

1 – явно полюсный пакет статора с сосредоточенной обмоткой; 2 – ротор в виде сплошного ферромагнитного тела; 3 – эксцентричный вал; 4 – центральные колеса с числом зубьев Z_1 и Z_3 ; 5 – сателлиты с числом зубьев Z_2 и Z_2' .

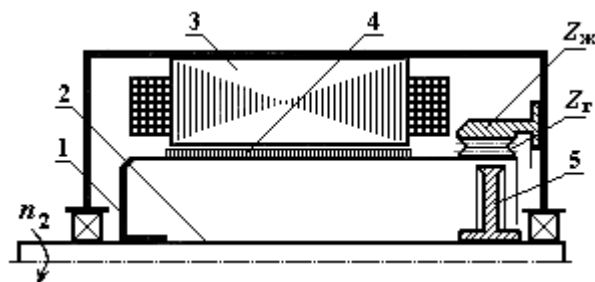


Рисунок 2. — Общий вид индукторного волнового электродвигателя:

1 – гибкий элемент передачи; 2 – вал; 3 – статор с сосредоточенной многофазной обмоткой; 4 – гибкий магнитопровод ротора; 5 – ограничитель деформации;

$Z_г$ – число зубьев гибкого элемента; $Z_ж$ – число зубьев жесткого колеса

Передаточные отношения для рассматриваемых механических передач равны

для планетарной

$$i_p = \frac{Z_1 Z_2'}{Z_1 Z_2' - Z_2 Z_3},$$

для волновой

$$i_p = \frac{Z_{\text{ж}}}{Z_{\text{ж}} - Z_{\Gamma}} = \frac{Z_{\text{ж}}}{N}.$$

Число полюсных выступов (зубцов) на статоре и частота вращения для обоих вариантов двигателей определяется выражениями

$$Z_S = N \cdot m_2 \cdot s, \quad n_2 = 60 \cdot f / N \cdot i_p = n_1 / i_p, \quad (1)$$

где N – число периодов результирующей МДС;

i_p – передаточное отношение механического редуктора;

m_2 – число фаз сосредоточенной обмотки статора.

s – степень расщепления магнитного потока в фазной зоне.

Использование элементов теории электрических цепей, позволяет при анализе каждой из представленных модификаций двигателей с вентильной неуправляемой коммутацией получить ответ на энергетические показатели – КПД и коэффициент мощности, что очень важно при анализе на предварительной стадии проектирования.

Основные допущения:

- изменение индуктивного параметра происходит синхронно с изменением напряжения сети и зависит только от углового положения ротора (является независимой функцией времени);
- магнитная система слабо насыщена и индуктивные параметры зависят только от соответствующих магнитных проводимостей рабочего зазора;
- взаимоиндуктивная связь между обмотками фаз отсутствует.

Закон изменения индуктивного параметра может быть представлен в виде:

$$L(t, \alpha_{\text{нач}}) = \frac{L_0}{(1 + \varepsilon \cos(\omega t - \alpha_{\text{нач}}))}, \quad (2)$$

где L_0 – постоянная составляющая индуктивного параметра;

$\varepsilon = e / \delta_{cp}$ – относительное значение переменной составляющей зазора;

$e = (\delta_{\text{max}} - \delta_{\text{min}}) / 2$ – среднее значение амплитуды переменной составляющей воздушного зазора в фазной зоне обмотки;

$\delta_{cp} = (\delta_{\text{max}} + \delta_{\text{min}}) / 2$ – среднее значение зазора в фазной зоне;

$\delta_{\text{max}}, \delta_{\text{min}}$ – средние значения соответствующих зазоров в фазной зоне.

Учитывая параметрический характер цепи обмотки фазы дифференциальное уравнение для фазного тока имеет вид

$$i(t)R + L(t, \alpha_{\text{нач}}) \frac{di(t)}{dt} + i(t) \frac{dL(t, \alpha_{\text{нач}})}{dt} = u_m \sin \omega t, \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{отк}} \quad (3)$$

где R – активное сопротивление обмотки фазы;

u_m – амплитуда синусоидального напряжения;

$\alpha_{\text{нач}}$ – угловая координата (в электрических градусах) начала коммутации;

$t_{\text{отк}}$ – момент закрытия вентиля.

Уравнение (3) не имеет аналитического решения, поэтому задача сводится к преобразованию его к виду, решение которого можно выполнить численными методами.

После подстановки выражения (2) в (3) и дифференцирования получаем

$$iR + \frac{L_0}{1 + \varepsilon \cos(\omega t + \alpha_{нач})} \cdot \frac{di}{dt} - \frac{\omega L_0 \sin(\omega t + \alpha_{нач})}{(1 + \varepsilon \cos(\omega t + \alpha_{нач}))^2} \cdot i = u_m \sin \omega t,$$

Вводя $tg \varphi_0 = \frac{\omega L_0}{R}$ – характеризует соотношение постоянных параметров обмотки фазы и $\alpha = \omega t$ – фазовый угол получаем:

$$i(1 - \frac{\varepsilon tg \varphi_0 \sin(\alpha + \alpha_{нач})}{(1 + \varepsilon \cos(\alpha + \alpha_{нач}))^2}) + \frac{tg \varphi_0}{(1 + \varepsilon \cos(\alpha + \alpha_{нач}))} \cdot \frac{di}{d\alpha} = \frac{u_m}{R} \sin \alpha. \quad (4)$$

Обозначая $A(\alpha) = \frac{1 + \varepsilon \cos(\alpha + \alpha_{нач})}{tg \varphi_0}$ в окончательном виде дифференциальное уравнение (4) приведено к форме удобной для компьютерного решения

$$\frac{di}{d\alpha} = \frac{u_m}{R} \cdot A(\alpha) \cdot \sin \alpha + i \cdot (\frac{\varepsilon \sin(\alpha + \alpha_{нач})}{A(\alpha) tg \varphi_0} - A(\alpha)), \text{ при } 0 \leq \alpha \leq \alpha_{отк} \quad (5)$$

Компьютерное решение уравнения для мгновенного значения фазного тока может быть представлено в графическом виде (см. рис. 3) и в виде гармонического ряда

$$i(\alpha) = i_0 + i_{1m} \sin(\alpha + \varphi_1) + i_{2m} \sin(2\alpha + \varphi_2) + i_{3m} \sin(3\alpha + \varphi_3) + \dots + i_{km} \sin(k\alpha + \varphi_k), \quad (6)$$

где i_0 – постоянная составляющая фазного тока;

i_{km} – амплитуда k – ой гармоники фазного тока;

φ_k – начальная фаза k – ой гармоники фазного тока.

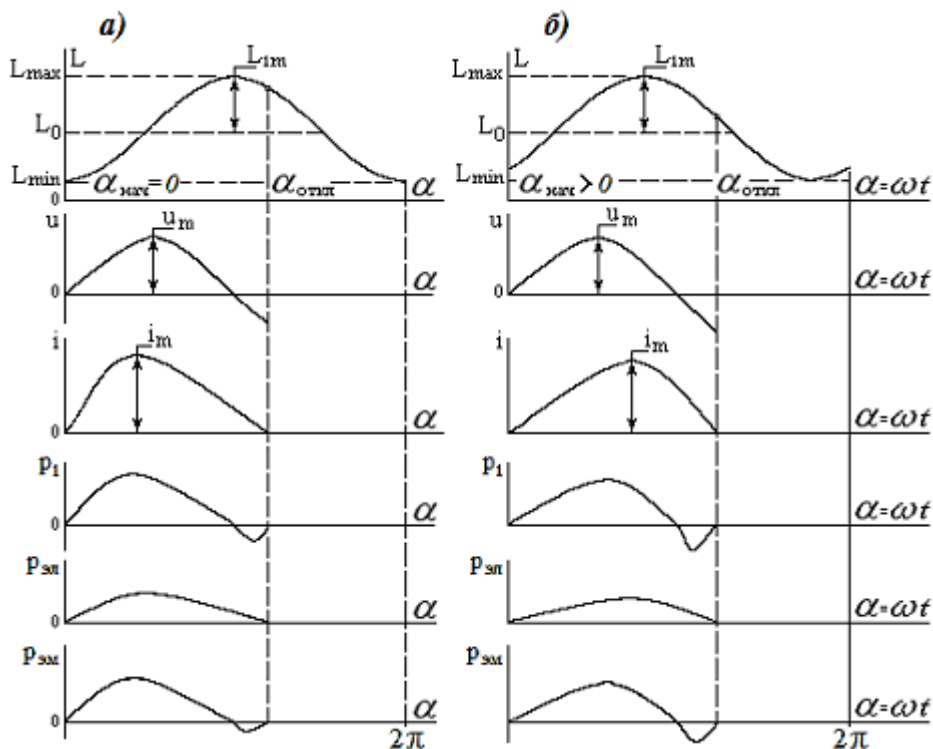


Рисунок 3. — Диаграммы изменения $L(\alpha)$, $u(\alpha)$, $i(\alpha)$ и мгновенных значений потребляемой мощности $p_I(\alpha)$, электрических потерь $p_{эл}(\alpha)$ и электромагнитной мощности $p_{эм}(\alpha)$ для:

а) при $\alpha_{нач} = 0$, что соответствует максимальному моменту;

б) при $\alpha_{нач} > 0$, что соответствует моменту меньше максимального.

Сложение двух фазных токов позволяет получить выражение для линейного

тока в следующем виде:

$$i_{\alpha}(\alpha) = i_{1\alpha.m} \sin(\alpha + \varphi_{1\alpha}) + i_{3\alpha.m} \sin(3\alpha + \varphi_{3\alpha}) + \dots + i_{k\alpha.m} \sin(k\alpha + \varphi_{k\alpha}), \quad (7)$$

где $i_{k\alpha.m}$ – амплитуда k – ой гармоники линейного тока;

$\varphi_{k\alpha}$ – начальная фаза k – ой гармоники линейного тока.

Анализ выражения (7) показывает, что постоянная составляющая и четные гармоники фазных токов замыкаются внутри схемы обмотки (при этом складываются арифметически), а нечетные гармоники (складываются с учетом начальных фаз токов обоих обмоток) и замыкаются через сеть.

Действующее значение фазного и линейного токов определяются с помощью выражений:

$$I_{\phi} = \sqrt{i_0^2 + \frac{i_{1m}^2}{2} + \frac{i_{2m}^2}{2} + \dots + \frac{i_{km}^2}{2}}, \quad I_{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{i_{1\alpha.m}^2}{2} + \frac{i_{3\alpha.m}^2}{2} + \dots + \frac{i_{k\alpha.m}^2}{2}\right)}. \quad (8)$$

Потребляемая мощность из сети будет определяться с помощью выражения

$$P_1 = m_1 I_{\alpha} U_{\phi} \chi, \quad (9)$$

где $\chi = \kappa_{иск} \cos(\varphi_{1u} - \varphi_{1i})$ – коэффициент мощности;

$\kappa_{иск}$ – коэффициент искажения (учитывает высшие гармоники в токе);

$\varphi_{1u}, \varphi_{1i}$ – начальные фазы основных гармоник напряжения и тока.

Электрические потери в обмотках фаз статора тогда будут равны

$$P_{эл.S} = m_2 I_{\phi}^2 R, \quad (10)$$

и пренебрегая магнитными потерями, получаем выражение для электромагнитной мощности и электромагнитного момента

$$P_{эм} = P_1 - P_{эл.S}, \quad M_{эм} = P_{эм} / \omega_1 \quad (11)$$

где $\omega_1 = \pi n_1 / 30$ – синхронная угловая частота перемещения максимумов МДС.

"Энергетический" КПД рассматриваемых двигателей определить как

$$\eta_{\varepsilon} = P_{эм} / P_1. \quad (12)$$

Представленные в графическом виде на рис. 3 мгновенные значения тока и мощностей показывают, что продолжительность его протекания (из-за наличия L_0) заметно превышает полпериода. После прохождения максимума индуктивного параметра происходит одновременно два физических процесса - переход данной обмотки фазы в генераторный режим работы и "гашение поля", то есть вывод запасенной ранее катушкой обмотки фазы магнитной энергии в сеть (из-за наличия отрицательной полуволны напряжения).

Для форсирования темпа нарастания фазного тока, уменьшения продолжительности его протекания и как следствие уменьшение интервала работы обмотки фазы в генераторном режиме можно рекомендовать частичную вентильную коммутацию.

Выводы:

1. Индукторные двигатели с электромеханической редукцией при вентильной самокоммутации являются по существу одной из модификаций вентильно-индукторных двигателей, которые могут быть использованы в тихоходном электроприводе в силу компактной конструкции, высокого быстродействия (отсутствуют вспомогательные средства для осуществления пуска) и простоты средств, используемых для получения m_2 – фазной

импульсной системы напряжений на основе синусоидальных напряжений.

2. В основе процесса преобразования у рассмотренных электрических машин лежит изменение индуктивного параметра обмотки фазы, что в предлагаемой математической модели позволяет определить фазные и линейные токи, потребляемую и электромагнитную мощности, оценить энергетические показатели при конкретном соотношении параметров цепи обмотки фазы.

3. Для регулирования длительности протекания фазного тока с целью повышения энергетических показателей возможно применения вентильной частично управляемой коммутации.

*Т.С. Ларькина, аспирант; В.В. Льготчиков, д.т.н., проф.,
(филиал ФГБОУ ВПО "НИУ МЭИ" в г. Смоленске)*

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ ДАТЧИКОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Анализ способов термической обработки продуктов питания показывает, что одним из основных является индукционный нагрев. Его несомненными преимуществами являются быстрое обеспечение необходимого температурного режима, возможность локального нагрева [1].

Известно, что передача тепла и диффузия играют важную роль в различных технологических процессах, а также при производстве и преобразовании энергии [2].

Для того, чтобы установка для термической обработки продуктов питания адекватно функционировала, необходимо произвести анализ технологического процесса и подобрать варианты технических решений для поставленной задачи, в том числе акцентируя особое внимание на выборе датчиков [1].

Датчик – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы, т.е. сигнал, удобный для дальнейшего использования. Таким образом, с помощью датчиков получают информацию о параметрах контролируемой системы.

Условно принята блок-схема установки для термической обработки продуктов питания, согласно [3], представлена на рисунке 1.

На блок-схеме изображен загрузочный контейнер, содержащий воду, который расположен на верхней поверхности плиты.

Нагревательный элемент (индуктор) заключен в корпус, расположенный под нижней поверхностью плиты.

На блоке управления располагаются выключатели, представляющие собой клавиши включения и выключения нагрева соответственно, предназначенные для запуска и останова операции нагревания, переключатель для выставления таймера, а также индикация [4].

Количество датчиков определяется исходя из условия достаточности данных для восстановления информации о контролируемом параметре [5].

Таким образом, в установку для термической обработки продуктов питания включены следующие датчики:

3. датчик температуры (термодатчик, контактирует с нижней поверхностью плиты, или термопара);
4. датчик присутствия емкости;
5. датчик уровня жидкости;
6. датчик давления.

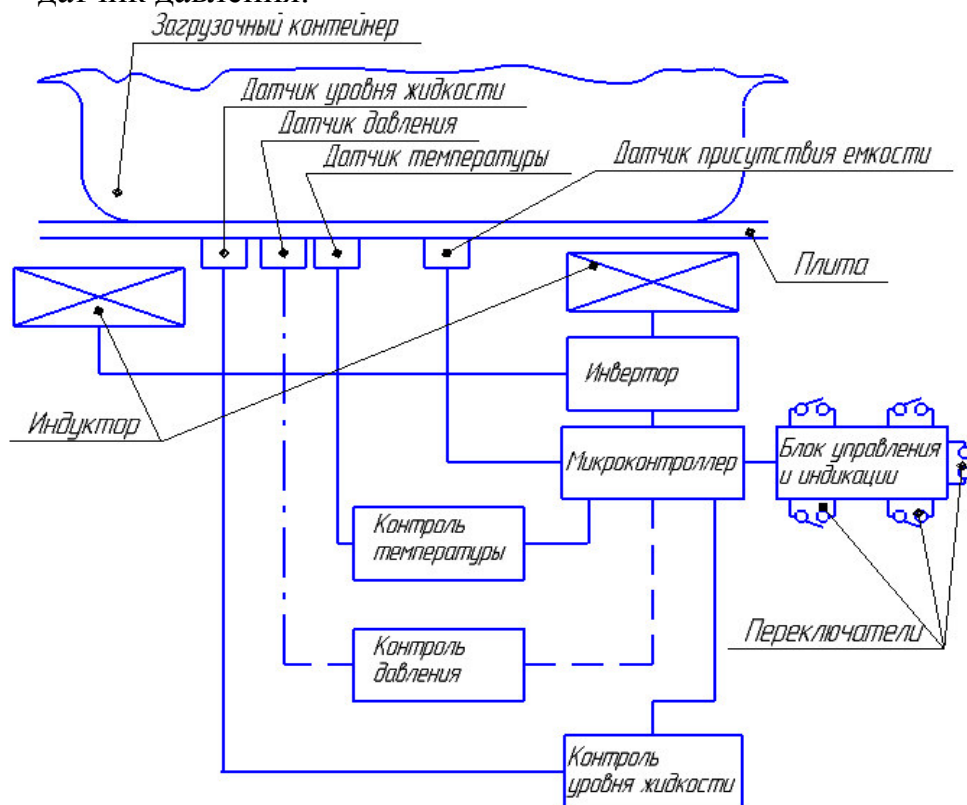


Рисунок 1 – Условно принятая блок-схема установки для термической обработки продуктов питания

Требования, предъявляемые к датчикам в отношении надежности, варьируются в зависимости от принадлежности к системе установки для термической обработки продуктов питания и расположения измерительных преобразователей (рис. 1).

Требования различаются для внутриконтейнерных датчиков и для датчиков, располагаемых за пределами загрузочного контейнера и устройств, встраиваемых в блок управления и индикации, контролирующую работу системы установки для термической обработки продуктов питания.

Для выбора датчиков будем руководствоваться следующими критериями:

- диапазон измеряемой величины;
- тип выходного сигнала;
- исполнение и способ монтажа датчика;
- однозначная зависимость выходной величины от входной;

- стабильность характеристик во времени;
- помехозащищенность сигнала датчика;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- характеристики рабочей среды;
- различные варианты монтажа;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- точность измерений;
- стоимость.

Также учтем специфические требования для данной системы:

- способность работы при высоких температурах;
- способность работы при высоких давлениях;
- функциональность с большими перепадами напряжения;
- защита от напряжения питания обратной полярности (минимум той же величины, что и номинальное);
- защита от короткого замыкания по цепи питания и выхода;
- защита от перенапряжения;
- сниженное энергопотребление;
- требования к электромагнитной совместимости и устойчивость к электромагнитному высокочастотному излучению.

Под электромагнитной совместимостью понимается способность электрического устройства работать удовлетворительно с требуемым качеством с электромагнитным окружением без недопустимого влияния и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

Существуют различные испытания для проверки воздействия высокочастотных вихревых токов Фуко, а, следовательно, и высокочастотного электромагнитного поля, на датчики (измерительные преобразователи) и устройство в целом.

Учет всех факторов и требований, предусмотренных на стадии проектирования установки для термической обработки продуктов питания, поможет избежать многих проблем и несоответствий по эксплуатации в будущем.

Литература

1. Ларькина, Т.С. Моделирование индукционного нагрева изотермического контейнера / Т.С. Ларькина // Международный научно-исследовательский журнал № 07 (38) Август 2015 (International research journal) ISSN 2303-9868 print, ISSN 2227-6017 online: периодич. теорет. и науч.-практ. журн. / Екатеринбург, 2015. – С.67-69.
2. Егоров А.И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами. М.: Наука. 1978. – 464 с.
3. Ларькина, Т.С. К вопросу формирования общей конструкции системы индукционного нагрева / Т.С. Ларькина; Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.С. Леневский // Новые горизонты: материалы международной конференции-конкурса, Брянск, 19 марта 2014 г./ [Текст] + [Электронный ресурс]/под ред. О.М. Голембиовской. - Брянск: БГТУ, 2014. – С. 13-14.
4. Ларькина, Т.С. Анализ концепций создания мобильных установок для тепловой обработки продуктов

- питания / Т.С. Ларькина; Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.С. Леневский // 50-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: матер. конф., Могилев, 22 мая 2014 г./ М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. - Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – С.116.
5. Орлов, А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие / А.И. Орлов. – М.: Издательство «Март», 2004. - 656 с.

*Г.С. Леневский, к.т.н., доцент; Н.В. Спиридонов, асп.
(ГУ ВПО Белорусско-Российский университет в г. Могилёве)*

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В настоящее время широкое распространение получили ёмкостные системы зажигания с полупроводниковыми свечами, обладающими достоинствами, как большая энергия и мощность разрядных импульсов в свечах, практическая независимость от давления окружающей среды, степени загрязнения свечей, имеют высокую воспламеняющую способность и значительный ресурс работы свечей.

Наряду с существующими ёмкостными системами зажигания, в последнее время ведутся разработки плазменных систем, предполагающих использование мощных источников питания.

Следует отметить, что традиционные методы повышения эффективности систем зажигания практически исчерпаны. Актуален поиск новых возможностей совершенствования систем зажигания.

Научный и практический интерес представляет создание новых импульсно-плазменных системы зажигания, сочетающих в себе преимущества ёмкостных и непрерывных плазменных систем.

В последние годы, в связи с развитием информационных технологий, стали эффективны новые подходы к проектированию и оценке эффективности разрабатываемых систем зажигания на основе компьютерного моделирования. Новые методы позволяют расширить возможности математических моделей, позволяя получить более достоверные результаты, а также учитывать большее количество факторов и переменных.

Таким образом, проведение исследований, направленных на разработку новых систем зажигания, основанных на неиспользуемых возможностях повышения эффективности, внедрение информационных технологий в процесс разработки, исследования систем зажигания и создание достоверных методик оценки их эффективности, в настоящее время продолжает оставаться актуальным.

Улучшение топливно-экономических и экологических показателей работы бензиновых двигателей достигается в основном за счет обеднения топливовоздушной смеси. Однако при сильном обеднении двигатель начинает работать с перебоями, а его экономичность резко ухудшаются, что недопустимо при перевозке грузов. Решение проблемы устойчивого горения бедной смеси достигается в конструктивном плане по-разному, но имеется три основных

направления:

1) изменение конструкции двигателя с целью получения оптимальных параметров движения воздуха, топливовоздушной смеси, отработавших газов, улучшения смесеобразования и т. д.;

2) усовершенствование топливоподающей аппаратуры (карбюратор – впрыск во впускной коллектор – впрыск в камеру сгорания);

3) усовершенствование системы зажигания, и в частности, интенсификация искрового разряда.

Во время грузоперевозок, каждый искровой разряд начинается с пробоя искрового промежутка на свече, за которым следует дуговой разряд (емкостная составляющая искры), а затем – тлеющий разряд (индуктивная составляющая, или «хвост» искры). В системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности большая доля подводимой к разряднику энергии приходится на «хвост» искры. Продолжительность этой фазы составляет 2-4 миллисекунды и более, поэтому тепловые потери на электродах играют значительную роль, а КПД подвода энергии в плазму искры небольшой. В системах зажигания с накоплением энергии в емкости, благодаря заряду конденсатора до 300-400 В, энергия подводится к свече менее чем за 100 микросекунд, до 75 % ее переходит в плазму искры и значительно меньше идет на нагрев электродов свечи.

Поэтому конденсаторные системы зажигания обеспечивают более быстрое протекание начальной фазы горения бедных смесей при той же подводимой энергии – примерно 30 мДж. Плазменные системы зажигания оборудуются специальными разрядниками, пока еще не выпускаемыми массово, которые имеют энергию единичного разряда не менее 300 мДж. Благодаря большому количеству энергии и созданию плазмы не только в канале искры, а и в большем объеме смеси, находящейся между электродами разрядника, – плазменные системы зажигания обеспечивают начало устойчивого горения очень бедных смесей.

Напряжённость поля в зазоре определяется формой электродов. Чем они острее – тем больше напряжённость поля в зазоре и легче пробой (как у иридиевых и платиновых свечей с тонким центральным электродом).

Пробиваемость зазора зависит от плотности газа в зазоре. В нашем случае – от плотности воздушно-бензиновой смеси. Чем она больше – тем сложнее пробить. Пробивное напряжение газового промежутка с однородным и слабо неоднородным электрическим полем зависит как от расстояния между электродами, так и от давления и температуры газа. Эта зависимость определяется законом Пашена, согласно которому пробивное напряжение газового промежутка с однородным и слабо неоднородным электрическим полем определяется произведением относительной плотности газа δ на расстояние h между электродами, $U_{пр} = U_{пр}(\delta \cdot h)$. Относительной плотностью газа называют отношение плотности газа в данных условиях к плотности газа при нормальных условиях (20 °С, 760 мм рт. ст.).

Зазор свечей не является константой, один раз заданной. Он может и должен подстраиваться под конкретную ситуацию эксплуатации двигателя.

Классическая конструкция свечи предполагает один центральный электрод и один боковой. Однако некоторое время назад производители начали изготавливать двух-, трех- и даже четырёхэлектродные модели. На рисунке 1 представлен фронт распространения пламени в многоэлектродной свече. Искрообразование становится устойчивее, обуславливая более стабильную работу двигателя в режиме малых оборотов, улучшается процесс поджига смеси и, наконец, увеличивается срок службы самого изделия.

На одноэлектродных свечах боковой электрод перекрывает загорающееся топливо и за счет этого смесь сгорает хуже и медленнее. В многоэлектродных факел воспламеняется точно по центру искры и его ничто не прикрывает. Также по мере возникновения нагара искра перепрыгивает на более чистый электрод, что естественным образом продлевает срок работы такой свечи.



Рисунок 1. – Фронт распространения пламени в многоэлектродной свече зажигания.

Малый диаметр центрального электрода свечи и скошенные края бокового электрода позволяют получить мощную искру (высокая плотность заряда на кончике электрода), так как требуется меньшее напряжение для пробоя межэлектродного промежутка, и также значительно улучшается процесс воспламенения, поскольку снижается подавляющее влияние самих электродов на распространение фронта пламени в камере сгорания.

Низкотемпературная плазма является мощным инициирующим фактором, который позволяет значительно ускорить протекание физико-химических процессов воспламенения и горения топливовоздушной смеси. Помимо теплового воздействия, плазменный факел ускоряет реакции окисления за счет инициирования достаточно большого количества активных центров – заряженных частиц, атомов, радикалов.

Одним из способов для генерации плазмы в объёме является использование СВЧ-разряда. Такой разряд является одним из наиболее дешевых методов получения и нагрева плазмы. В качестве источника СВЧ-энергии предполагается использовать магнетрон мощностью ~ 1 кВт с частотой 2,45 ГГц. На рисунке 3 показана напряжённость электрического поля магнетрона, необходимая для зажигания и поддержания разряда как функция давления при отсутствии магнитного поля [1]. Опыт подобных экспериментов показывает [2], что мощность магнетрона может оказаться недостаточной для зажигания разряда в объёме, но при наличии магнитного поля пороговое значение может существенно снизиться за счёт электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР). При частоте СВЧ-поля 2,45 ГГц ЭЦР будет наблюдаться при $H = 800$ Э. На рисунке 2 показано, что для поддержания разряда требуется меньшее значение

электрической компоненты СВЧ поля, чем для возникновения пробоя. Поэтому предполагается дополнительно использовать разряд в скрещенных ЕН полях для осуществления пробоя в данной конфигурации.

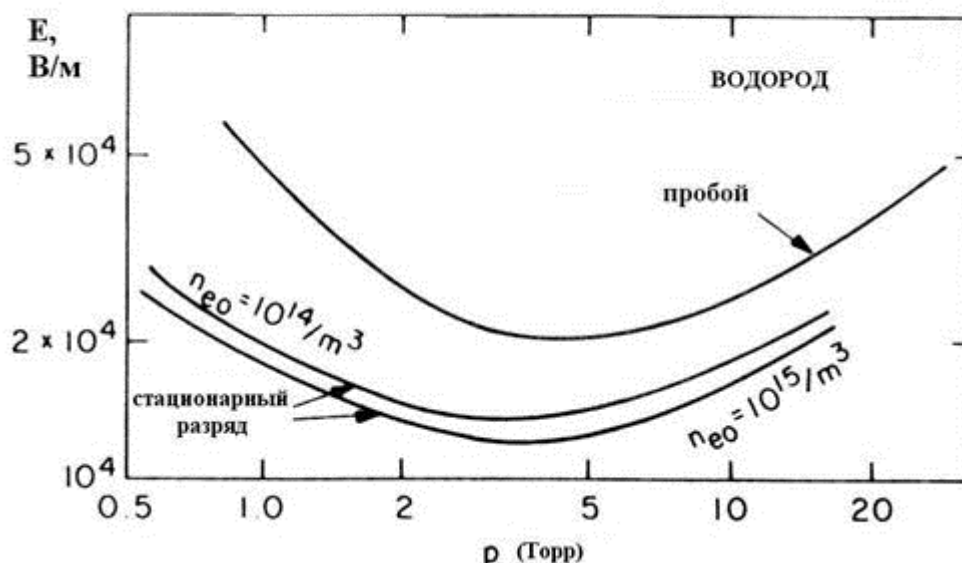


Рисунок 2 – Электрическое поле, необходимое для зажигания и поддержания разряда как функция давления.

Существует множество видов электрических разрядов в газах в зависимости от характера приложенного поля (постоянное электрическое поле, переменное, импульсное, ВЧ, СВЧ), от давления газа, формы и расположения электродов и т. п.

Пробой газа начинается от случайных или искусственно впрыскиваемых нач. электронов, которые набирают в электрическом поле энергию, а затем теряют её на возбуждение и ионизацию атомов. В результате ионизации вместо одного энергичного электрона появляются два медленных, они снова набирают энергию и т. д. - развивается лавина электронная. За $10^{-7}..10^{-3}$ с ток вырастает на несколько порядков.

Дальнейший ход процесса зависит от ряда условий.

При большом межэлектродном расстоянии образуется однородный светящийся столб (положительный столб разряда), представляющий собой плазму. Плазма тлеющего разряда неравновесная, электронная температура $T_e \approx 1.3 \cdot 10^4$ K значительно больше газовой температуры $T \approx 300..1000$ K, степень ионизации плазмы тлеющего разряда низкая, $\approx 10^{-8}..10^{-6}$, в 102-104 раз меньше термодинамической равновесной, отвечающей T_e .

Среди стационарных самостоятельных разрядов в пост. поле наиб. важные и распространённые - тлеющий и дуговой. Они различаются механизмами катодной эмиссии, обеспечивающей возможность протекания пост. тока, поскольку основными носителями тока являются электроны. В тлеющем и тёмном (таунсендовском) разрядах катод холодный. Электроны вырываются из него положит. ионами (и фотонами). В дуговом разряде катод разогревается

сильным током и происходит термоэлектронная эмиссия. В резко неоднородных полях, усиленных около острия, проводов линий электропередачи, возникает коронный разряд, самостоятельный и слаботочный. Среди быстротечных сильноточных разрядов особенно важен искровой разряд. Он возникает обычно при $p \approx 1 \text{ атм.}$, $d > 1.5 \text{ см}$ и достаточно высоком напряжении, превышающем напряжение зажигания короны, если поле сильно неоднородное. Искровой пробой газа происходит в результате возникновения и быстрого развития тонкого плазменного канала от одного электрода к другому; затем получается, как бы короткое замыкание цепи высокопроводящим искровым каналом. Одна из форм искрового разряда-молния. В коронном и искровом разрядах катодная эмиссия особой роли не играет.

Несущественна роль электродных процессов и в большинстве разрядов в быстропеременных полях. Поэтому разряды можно классифицировать, и не учитывая признаки, связанные с электродными эффектами, а по состоянию плазмы разряда и частоте электрического поля. По характеру ионизации состояния газа можно различать:

- 1) пробой;
- 2) поддержание электрическим полем неравновесной плазмы;
- 3) поддержание равновесной плазмы.

Схема импульсно-плазменной системы зажигания представляет собой раскочку напряжения. Для раскочки напряжения используются транзисторный каскад (импульсный режим), умножители напряжения (генератор Кокрофта-Уолтона) и высоковольтный трансформатор (катушка зажигания). Всего насчитывается 3 звена: транзисторный каскад, умножитель напряжения и импульсный высоковольтный трансформатор (катушка зажигания).

Для питания транзисторов используются выходы управляющего устройства (микроконтроллера) и напряжение с преобразователя напряжения (220 В).

Литература

1. J. Reece Roth Industrial Plasma Engineering. Vol. 1, IOP Publishing Ltd. 1995.
2. Mozjetchkov M. // Rev. Sci. Instrum. Vol.69. № 2, February 1998.

*Л.Н. Макаров, д.т.н.(ООО "Русэлпром", Москва),
Курилин С.П., д.т.н., проф., Денисов В.Н., д.т.н., доц., Власенков А.А., студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Выпуск асинхронных двигателей (АД) классов энергоэффективности IE2, IE3 предполагает установку на них клеток ротора, обладающих высокой добротностью. Однако в пусковых режимах АД высокая добротность клетки играет негативную роль, обеспечивая значения кратности пусковых токов порядка 7. Особенно актуальна эта проблема для двигателей мощностью порядка нескольких сотен и до 1000 кВт. В связи с этим перед производителями весьма остро встаёт задача снижения пускового тока в 2 – 3 раза без существенных

потерь пускового момента и рабочих свойств АД.

Моделирование параметрически неоднородных и параметрически однородных клеток. Поставленные задачи решались методами математического моделирования. Идея использования параметрически однородной клетки состоит в использовании эффекта вытеснения тока для снижения проводимости клетки в пусковом режиме. Идея использования параметрически неоднородной клетки состоит в том, чтобы на период пуска сформировать дополнительные спектры гармоник тока и поля клетки.

Математическая модель клетки даётся выражением

$$E_k = (A_s + A_a) I_k$$

где E_k и I_k – векторы - столбцы контурных ЭДС и токов клетки, имеющие $n = z_2$ строк, A_s – трехдиагональная матрица, на главной диагонали которой расположены сопротивления контуров Z , а на ближайших параллельных диагоналях – сопротивления стержней клетки z со знаком «минус», A_a – диагональная матрица, на главной диагонали которой расположены так называемые «вносимые сопротивления» z_a .

Далее в докладе приводятся результаты расчетов различных вариантов исполнения однородной и неоднородной клеток. Для однородной клетки представляются результаты моделирования клетки с экранированными кольцами для случаев однослойного и двухслойного экранов. Результаты представлены на рисунках 1, 2 и 3.

Для неоднородной клетки представленные на рисунке 4 результаты соответствуют «частичному» дополнительному рассеянию, образуемому нечетными эллиптическими составляющими токов. Моделирование проводилось для 12-фазной двухполусной клетки с алюминиевыми короткозамыкающими кольцами размером 80x50x25 мм. Источником неоднородности служили стальные шунты толщиной 4 мм, как это показано на рисунке 4. Результаты расчета различных вариантов приведены на рисунке 5.

3.2. Конструкция с плоскими кольцевыми экранами 2x1 мм (СТ. 3)

Сопротивления 10 ⁻⁵ Ом; (при 50 Гц)	Сопротивления 10 ⁻⁵ Ом (при 1 Гц)	Коэффициенты вытеснения, пусковой ток	Показатели
$r_{s0}=4.48$	$r_1=1.63$	$k_r=2.75$	$\chi = 0.29$ $i_n = 5.19$; $m_n = 1.51$
$x_{s0}=15.55$	$x_1=0.36 (1.24)$	$k_l=0.86$	
$z_{s0}=16.19$	$z_1=1.67$		
$\cos(\phi_{50})=0.28$	$\cos(\phi_1)=0.98$		

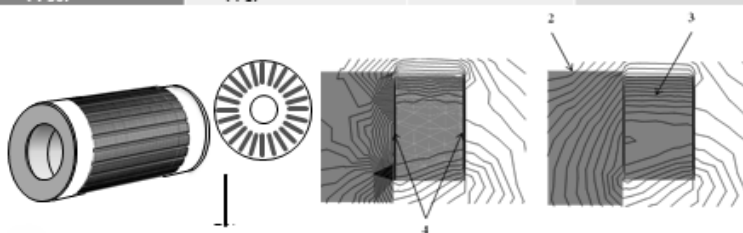


Рисунок 1 – Конструкция с плоскими кольцевыми экранами

3.3. Конструкция с кольцевыми Г-образными экранами 2 мм (СТ. 3)

Сопротивления 10^{-5} Ом (при 50 Гц)	Сопротивления 10^{-5} Ом (при 1 Гц)	Коэффициенты вытеснения	Показатели
$r_{50}=11.90$	$r_1=1.64$	$k_r=7.26$	$x_n=0.28$;
$x_{50}=41.01$	$x_1=1.12$ (3,9)	$k_i=0.73$	$i_n = 1.93$;
$z_{50}=42.70$	$z_1=1.99$		$m_n = 0.54$
$\cos(\phi)=0.28$	$\cos(\phi)=0.82$		

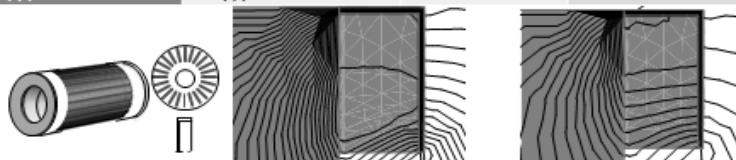


Рисунок 2 – Конструкция с кольцевыми Г-образными экранами

3.4. Конструкция с двухслойными кольцевыми Г-образными экранами 2x1 мм (СТ. 3, Cu)

Сопротивления 10^{-5} Ом (при 50 Гц)	Сопротивления 10^{-5} Ом (при 1 Гц)	Коэффициенты вытеснения	Показатели
$r_{50}=16.33$	$r_1=1.55$	$k_r=10.54$	$x_n=0.67$;
$x_{50}=18.06$	$x_1=0.73$ (2,5)	$k_i=0.49$	$i_n = 3.18$;
$z_{50}=24.34$			$m_n = 2.13$
$\cos(\phi)=0.67$	$\cos(\phi)=0.91$		

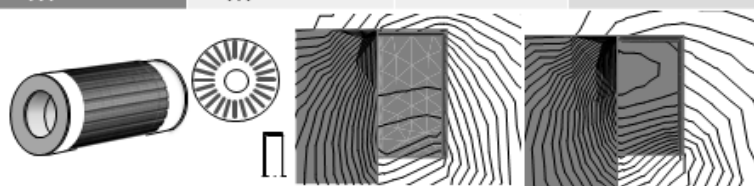


Рисунок 3 – Конструкция с двухслойными Г-образными экранами

На этом же рисунке показаны ортогональные компоненты эллиптических составляющих пускового тока электродвигателя 8 для различных вариантов расположения и мощности шунтов.

Конструкция с ферромагнитными шунтами на кольцах

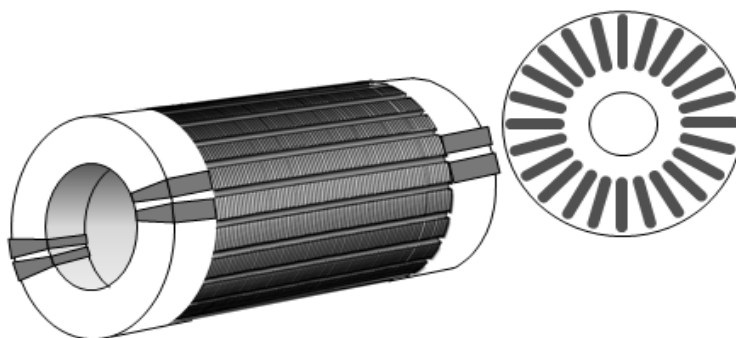


Рисунок 4 – Конструкция с ферромагнитными шунтами на кольцах

На рисунке 5 за единицу пускового тока принято 7-кратное значение клетки без ферромагнитных шунтов, отображенной нулевым вариантом расчета.

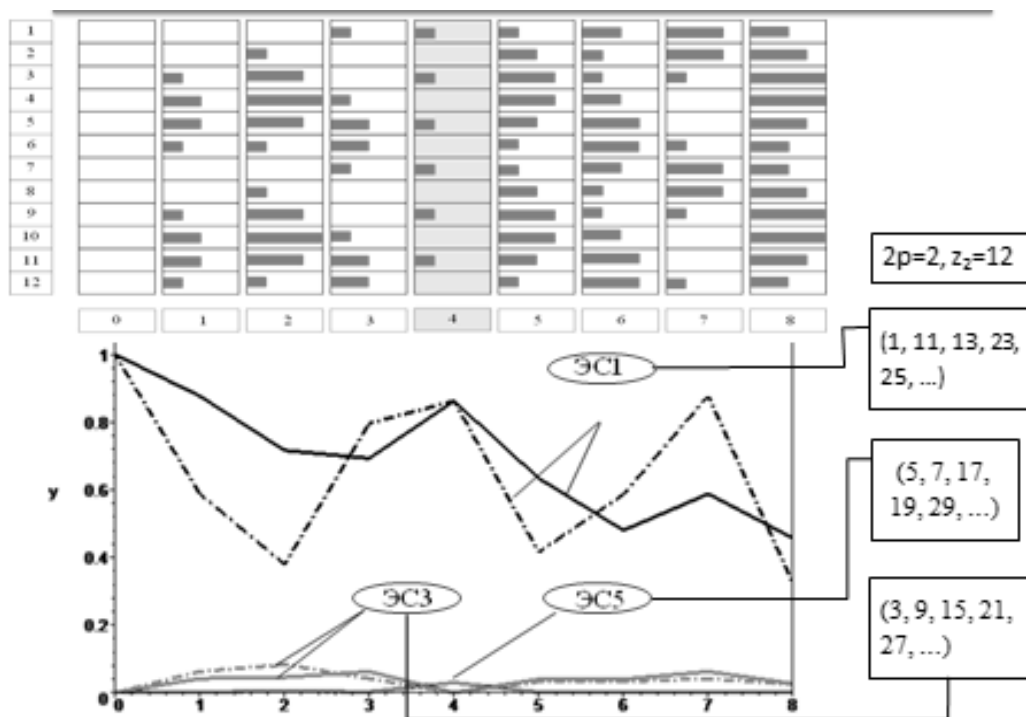


Рисунок 5 – Пусковые токи для различных вариантов шунтирования

Моделирование вытеснения тока в короткозамыкающем кольце клетки. В качестве математической модели для этой задачи использовалось уравнение диффузии, записанное для элемента кольца и окружающего его пространства. Модель исследовалась средствами среды ELCUT при различных формах сечения кольца и различных формах магнитных шунтов, расположенных на поверхности кольца или вблизи её. Соответствующие картины распределений пускового и рабочего токов показаны на рисунках 1, 2, 3. Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что шунты, выполненные в виде стального экрана, окружающего элемент кольца, обеспечивают повышение активного сопротивления элемента кольца в 10 и более раз, решая, таким образом, техническую часть задачи.

Заключение. Задача снижения пускового тока серийных АД большой мощности разрешима принципиально и технически.

В принципиальном отношении для решения задачи перспективны параметрически неоднородные клетки, предоставляющие широкие возможности организации дополнительных нечетных и четных спектров тока и поля. В техническом отношении необходимые диапазоны изменения параметров обеспечиваются магнитным шунтированием элементов кольца.

Представленные выше варианты конструктивных исполнений однородных клеток демонстрируют умеренный прогресс по отношению к серийным АД, но не реализуют целевые показатели.

Наиболее перспективна конструкция с двухслойными Г-образными экранами. Она является основой для компромиссного поиска решения задачи. Технические испытания разработанных конструкций выявят возможные границы компромисса.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ Н₂-СН₄-Ar И He-N₂-CO₂

При расчете различных технологических процессов, происходящих в не-изотермической газовой среде, необходимо знать значения состава смеси в той или иной точке. В стационарных условиях на состав газовой смеси в заданной области будет влиять и так называемое термодиффузионное разделение, то есть сдвиг концентраций между холодной и горячей областями газовой смеси.

Ранее в работах [1 – 4] с помощью модифицированного двухколбового аппарата [5] нами для ряда составов газовых смесей было выполнено исследование термодиффузионного разделения Δx_i , и по формуле, в частности, приведенной в работе [4], вычислены соответствующие значения термодиффузионной постоянной (ТДП) α_{Tij}^{mlt} :

$$\alpha_{Tij}^{mlt} = \left(\frac{\Delta x_i}{x_i} - \frac{\Delta x_j}{x_j} \right) / \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (2)$$

где разделение Δx_i берется со знаком «+», если данным компонентом обогащается горячая область, и «-», если холодная, x_i и x_j – мольные доли газов i и j в исходной смеси.

Значения ТДП можно определять как с помощью экспериментально полученных значений разделения Δx_i , так и через расчетные данные. В этом случае величину разделения можно рассчитать согласно формулам из работы [4]:

$$\Delta x_i = x_i^2 \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^3 \frac{\Delta x_{ij}}{x_{ij}^2}, \quad (3)$$

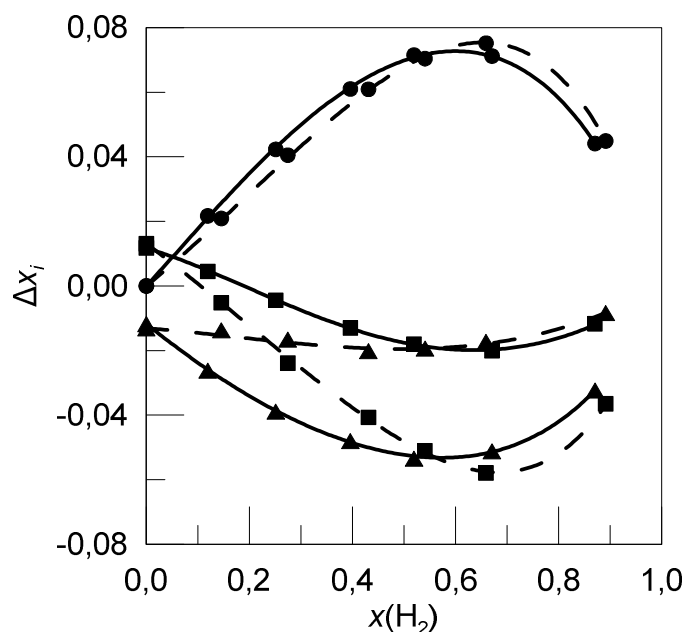
где Δx_{ij} – разделение в бинарной смеси газов, которое в свою очередь можно вычислить по формуле [4]:

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} x_{ji} \left(1 - \frac{a_{ij}}{2} \right) \frac{\sqrt{m_j} - \sqrt{m_i}}{x_{ij} \sqrt{m_i} + x_{ji} \sqrt{m_j}} \ln(T_2/T_1), \quad (4)$$

где x_{ij} – мольная доля i -го компонента в бинарной смеси до разделения,

$a_{ij} = A_{ij} x_{ij} + B_{ij}$ – полуэмпирическая величина, A_{ij} , B_{ij} – постоянные для данной пары газов i и j .

Результаты измерения и расчет термодиффузионного разделения для газовых систем Н₂-СН₄-Ar и He-N₂-CO₂ в зависимости от мольных долей легкого и среднего по массе молекул компонентов приведены на рисунках 1 – 4 и таблицах 1, 2.



- $\square, \square, \square$ – экспериментальные значения Δx_i для H_2 , CH_4 , Ar , соответственно
 — — — — — расчет по формуле (1) при $x(CH_4)/x(Ar) = 0,249$
 - - - - - расчет по формуле (1) при $x(CH_4)/x(Ar) = 3,997$

Рисунок 1 – Зависимость значений изменения состава газовой смеси между горячей и холодной областями в трехкомпонентной системе H_2 - CH_4 - Ar от мольной доли $x(H_2)$ при $T_1 = 280$ К, $T_2 = 600$ К

Таблица 1 – Величина термодиффузионного разделения системы H_2 - CH_4 - Ar при $T_1 = 280$ К, $T_2 = 600$ К и $p = 0,1$ МПа в зависимости от мольной доли $x(H_2)$

$x(H_2)$	Величина разделения			$x(H_2)$	Величина разделения		
	$\Delta x(H_2)$	$\Delta x(CH_4)$	$\Delta x(Ar)$		$\Delta x(H_2)$	$\Delta x(CH_4)$	$\Delta x(Ar)$
при $x(CH_4)/x(Ar) = 0,249$				при $x(CH_4)/x(Ar) = 3,997$			
0,0000	0,0000	0,0118	-0,0118	0,0000	0,0000	0,0131	-0,0131
0,1191	0,0217	0,0045	-0,0262	0,1455	0,0209	-0,0052	-0,0137
0,2512	0,0423	-0,0044	-0,0389	0,2745	0,0405	-0,0239	-0,0166
0,3960	0,0610	-0,0130	-0,0480	0,4311	0,0609	-0,0407	-0,0202
0,5195	0,0715	-0,0180	-0,0535	0,5408	0,0704	-0,0510	-0,0194
0,6709	0,0712	-0,0200	-0,0512	0,6593	0,0752	-0,0579	-0,0173
0,8707	0,0441	-0,0117	-0,0324	0,8916	0,0449	-0,0365	-0,0084

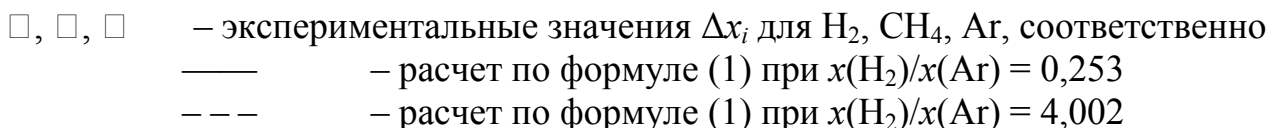
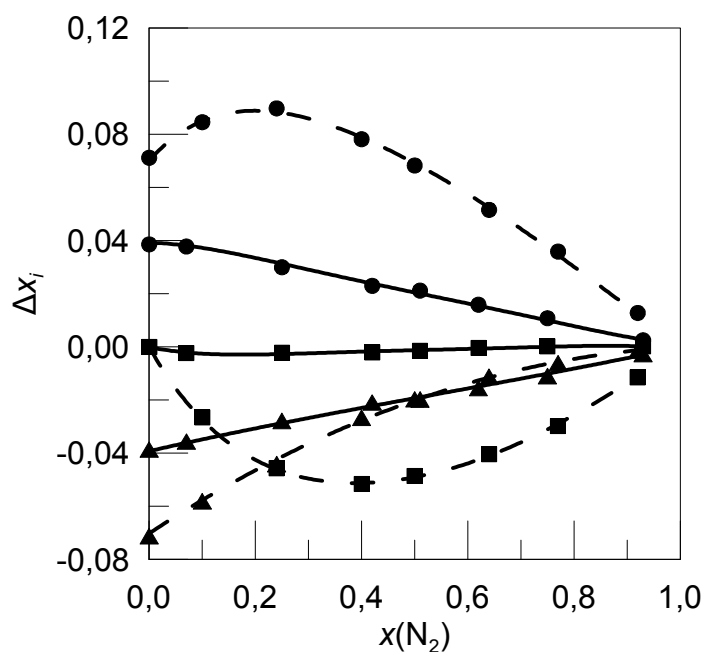


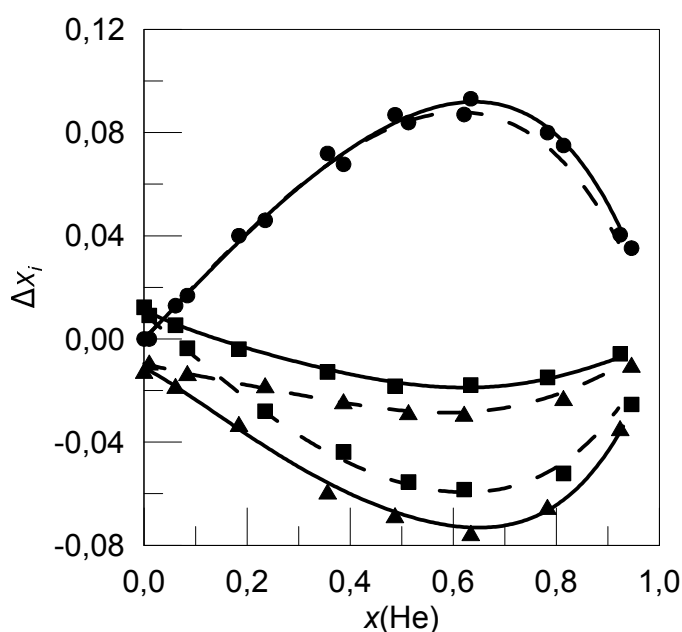
Таблица 2 – Величина термодиффузионного разделения системы $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-Ar}$ при $T_1 = 280 \text{ K}$, $T_2 = 600 \text{ K}$ и $p = 0,1 \text{ МПа}$ в зависимости от мольной доли $x(\text{CH}_4)$

123



- $\square, \square, \square$ – экспериментальные значения Δx_i для He, N₂, CO₂, соответственно
 — — — — — расчет по формуле (1) при $x(\text{He})/x(\text{CO}_2) = 0,248$
 - - - - - расчет по формуле (1) при $x(\text{He})/x(\text{CO}_2) = 4,003$

Рисунок 3 – Зависимость значений изменения состава газовой смеси между горячей и холодной областями в трехкомпонентной системе He-N₂-CO₂ от мольной доли $x(\text{N}_2)$ при $T_1 = 280$ К, $T_2 = 800$ К



- $\square, \square, \square$ – экспериментальные значения Δx_i для He, N₂, CO₂, соответственно
 — — — — — расчет по формуле (1) при $x(\text{N}_2)/x(\text{CO}_2) = 0,248$
 - - - - - расчет по формуле (1) при $x(\text{N}_2)/x(\text{CO}_2) = 4,003$

Рисунок 4 – Зависимость значений изменения состава газовой смеси между горячей и холодной областями в трехкомпонентной системе He-N₂-CO₂ от мольной доли $x(\text{He})$ при $T_1 = 280$ К, $T_2 = 800$ К

Как видно из рисунков и таблиц, наблюдается хорошее согласие между экспериментом и расчетом.

Как видно из экспериментальных и расчетных данных для систем $\text{He-N}_2\text{-CO}_2$, $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-Ar}$ разделение легкого компонента сначала увеличивается по мере увеличения концентрации добавочного компонента и превышает разделение водорода в бинарной смеси, а затем убывает и становится меньше разделения в бинарной смеси.

Добавка среднего по массе молекул компонента для смесей с большой долей легкого газа позволяет увеличить разделение легкого компонента по сравнению с соответствующей бинарной смесью легкого и тяжелого компонентов. То есть для смесей определенного состава добавка среднего по массе молекул газа позволяет регулировать разделение легкого компонента.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России №2014/123 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности, проект № 2493.

Литература

1. Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А., Незовитина М.А. Термодиффузионное разделение в бинарной смеси газов с добавкой инертного газа // Естественные и технические науки. 2014. № 2. С. 37-42.
2. Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А., Незовитина М.А., Белалов В.Р. Особенности термодиффузионного разделения в бинарной системе $\text{H}_2 - \text{CH}_4$ с добавками Ne и Ar // Естественные и технические науки. 2014. № 4. С. 23-24.
3. Богатырев А.Ф., Незовитина М.А., Макеенкова О.А., Белалов В.Р. О влиянии H_2 и Ne на термодиффузионную постоянную бинарной смеси $\text{N}_2\text{-CO}_2$ // В сб. трудов V МНТК «Энергетика, информатика, инновации – 2015». Смоленск: Универсум. 2015. Т. 1. С. 63-66.
4. Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А., Незовитина М.А. Температурная и концентрационная зависимости термодиффузионного разделения в трехкомпонентных газовых системах // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 5. С. 1205-1214.
5. Богатырев А.Ф., Васильченко Л.Ю., Криволапова Л.И. Зависимость термодиффузионного разделения бинарной смеси от добавки третьего компонента // Научное обозрение. 2010. № 3. С. 37-39.

В. П. Максимов., д.п.н., проф.

**(ФГБОУВО «Сахалинский государственный университет», г. Южно-Сахалинск)
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ЖИЛОМ ДОМОСТРОЕНИИ**

Повышение энергоэффективности домостроений является насущной задачей развития строительной индустрии большинства считающих себя развитыми странами. В большинстве зарубежных стран за последние 15 лет нормируемые величины теплозащиты строительных конструкций увеличились в 3–4 раза, и в России требования к используемым теплоизолирующим материалам постоянно повышаются, ужесточаются нормативы теплопроницаемости и соответствующих параметров отдельных строительных конструкций и сооружений в целом, активно развивается концепция энергосберегающего домостроения.

Однако концепция энергоэффективного и энергосберегающего здания включает не только возможность использования альтернативной энергии Солнца, ветра или тепла Земли, она затрагивает проблемы изоляциистроительных конструкций, архитектурных подходов, технических решений проектирования

систем вентиляции, водо и теплоснабжения.

Для развития концепции энергосберегающего домостроения необходимо использовать совокупность многих факторов. Так тепловизионные исследования, которые были проведены студентами СахГУ в процессе лабораторного практикума, показали, что при эксплуатации многоэтажных жилых строений через стены теряется до 37 % тепла, через окна – 18 %, подвал – 10 %, крышу – 21 %, вентиляцию – 14 %. Поэтому свести теплопотери к минимуму возможно только при комплексном подходе к энергосбережению.

Так в мировой строительной практике за последние годы стало использоваться понятие «солнечные дома» – домостроения, большая часть энергетических потребностей которых обеспечивается энергией Солнца.

Анализ рекламных источников показал, что в самом простом варианте «солнечные» дома Европы и Америки снижают затраты потребителей на тепловую энергию до 40–60 % (в зависимости от конструкции и географической широты). А оснащение «солнечного» дома дополнительной тепловой аккумулирующей установкой может обеспечить дом теплом на 100 %, хотя и потребует дополнительных затрат.

Обзор материалов курсовых и дипломных проектов студентов СахГУ за 2014-2016 год позволяет определиться с методикой проектирования подобных домостроений.

Первым этапом проектирования солнечного дома считается выбор оптимальной формы здания. Рекомендуются компактная форма плана с минимальной площадью наружных стен. Показателем компактности служит коэффициент, равный отношению площади наружных стен к внутреннему объему здания (желательно не более 0,75). Для уменьшения поверхности наружных стен могут использоваться цилиндрические, полусферические и другие сглаженные формы. Особое значение при проектировании солнечного дома приобретают планировка участка и правильная ориентация по сторонам света. Для эффективного использования солнечной радиации южная стена или кровля жилого дома должны облучаться прямыми солнечными лучами с 9.00 до 15.00 даже в самый неблагоприятный день. Для этого солнцеспринимающий фасад должен быть ориентирован на юг с отклонением не более чем на 10–20°. При детальном проектировании зданий должны также учитываться по возможности энергетические требования.

Солнечные дома, по мнению В. С. Беляева и Л. П. Хохловой должны быть спроектированы с соблюдением особых требований. Вот основные правила, которых следует всегда придерживаться [1]:

- строить с учетом климата и изучать естественные условия;
- проект, не учитывающий сохранение энергии, в большинстве случаев не имеет успеха и всегда неэкономичен;
- хорошая теплоизоляция всего здания обеспечивает снижение его энергетических потребностей;
- значение приведенного сопротивления теплопередаче для стен и крыши должно составлять не менее 5.

В процессе опроса жителей Сахалинской области (23 домохозяйства, использующие альтернативные источники энергии) эти требования были подтверждены, а кроме того, были выявлены такие требования как:

- применять по возможности тройное остекление;
- располагать отверстия и солнечные коллекторы с южной стороны и правильно ориентировать здание;
- избегать затенения южного фасада здания;
- учитывать, что технически и конструктивно многократное использование энергии всегда находит применение в доме (отработанная вода, освещение и т. д.);
- предусматривать защиту дома от холодного ветра (деревьями, склонами, тепловыми буферными зонами и т. д.);
- тщательно рассчитывать оптимальное соотношение между объемом здания и наружной поверхностью (максимально возможный объем при наименьшей поверхности);
- предусматривать проектирование тепловой буферной зоны (т.е. двойные двери, крытые террасы и др.);
- использовать редкое физическое явление экзотермии (теплоотдачи);
- использовать термические свойства аккумуляторов здания с точки зрения оптимального решения резервуара для возмещения дневных (ночных) теплопотерь и удовлетворения сезонных тепловых энергетических требований;
- учитывать оптимальное соотношение комфортной, автономной и наружной энергий;
- уменьшать теплопотери через окна, увеличивая величину сопротивления теплопередаче.

Архитектор Т. В. Захарова считает, что существуют два основных способа преобразования солнечной энергии: фототермический и фотоэлектрический [3]. При фототермическом способе преобразования теплоносителем чаще всего является вода, а для средней полосы России рекомендовано использовать концентрацию пропиленгликоля в 60 % (для южных районов Сахалинской области достаточно и 40 %). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе (системе светопоглощающих труб) до высокой температуры и используется для отопления помещений. Коллектор устанавливают на крыше здания так, чтобы его освещенность в течение дня была наибольшей. Часть тепловой энергии аккумулируется: краткосрочно (на несколько дней) – тепловыми аккумуляторами, долгосрочно (на зимний период) – химическими. Солнечный коллектор простой конструкции площадью 1 м² за день может нагреть 50-70 л воды до температуры 80-90°C.

Возможности солнечной энергии характеризует таблица 1, которая сопоставляет солнечную радиацию Южно-Сахалинска и города Сочи.

Таблица 1 – Сравнительная оценка солнечной радиации, кВт·ч/м² [5]

Сочи, широта 43,6	янв	февр	март	апр	май	июнь	июль	авг	сент	окт	нояб	дек	год
Горизонтальная панель	37,0	55,2	84,0	116,6	167,1	199,0	206,8	185,0	130,1	95,4	54,2	34,7	1365,1
Наклон панели —	62,0	80,2	103,5	125,0	163,0	184,9	198,1	197,0	161,6	141,7	92,8	61,7	1571,4

35,0°													
Южно-Сахалинск, широта 47	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Горизонтальная панель	50,9	77,1	128,8	138,6	162,8	157,5	146,7	128,5	105,9	79,4	49,7	41,7	1267,5
Наклон панели 45,0°	102,2	132,7	175,4	149,1	153,7	142,2	136,6	131,5	130,4	124,2	94,8	87,2	1560,2

Данное техническое решение, увеличивает стоимость строительства до 10 %, но при этом заметно способствует снижению затрат на отопление помещений.

Комплексному развитию «солнечного» домостроения должно способствовать развитие не только солнечных коллекторов и тепловых насосов, но и массовое развитие фотоэлектрического преобразования.

Как отмечает Б. И. Лучков: «Будущее солнечной энергетики – за прямым преобразованием солнечного излучения в электрический ток с помощью полупроводниковых фотоэлементов». За последние 20 лет эффективность полупроводниковых фотоэлементов выросла в среднем в 5 раз. Этим элементам уже нет необходимости в прямом солнечном свете. Современные фотоэлементы хорошо «усваивают» и рассеянный, пробившийся через облака свет, так что пасмурная погода им не помеха. Последнее важное направление в развитии солнечной энергетики – создание более дешевых и удобных фотопреобразователей: ленточных поликристаллических кремниевых панелей, тонких пленок аморфного кремния, а также использование гетероструктурных полупроводников, эффективность которых в два раза выше, чем простых кремниевых образцов [4].

Эффективность современных промышленных кремниевых (а также на основе арсенида галлия) фотоэлементов достаточно высока. КПД производимых в промышленных масштабах на территории России фотоэлементов в среднем составляет 23 %, у лучших зарубежных образцов до 34 % (пять лет назад это было 16 % и 25 % соответственно). В лабораторных условиях учеными Германии созданы фотоэлементы из индиево-галлий-арсенидной группы, которые достигли КПД 44,7 %.

Перспективным направлением является создание фотоэлементов на основана на нанотехнологиях, работающих на непосредственном выпрямлении токов, наводимых в антенне малых размеров (порядка 200-300 нм) солнечным светом (то есть электромагнитным излучением частоты порядка 500 ТГц). Нанотехнологии не требуют дорогого сырья для производства и имеют потенциальный КПД до 85 %.

Темп роста «солнечных» домов во всем мире резко возрастает. Ежегодно в западных странах вводятся сотни тысяч квадратных метров нового экономичного жилья. Созданы крупные фирмы, занимающиеся строительством таких домов, специализированные предприятия, выпускающие для них оборудование и материалы. Во многих передовых странах развитие «солнечных» домов стало государственной политикой. Много занимаются вопросами

энергосберегающего строительства ЮНЕСКО, Европейская комиссия, Департамент энергетики США. Создана и успешно действует всемирная организация OPET по развитию и распространению энергетических технологий, издаётся журнал Solar Energy, который освещает многие вопросы внедрения эксплуатации солнечной энергии.

Постепенно и Россия в вопросе развития «солнечного» домостроения начинает догонять страны индустриального мира, осознавая, что климатические условия позволяют строить «солнечные» здания во многих регионах.

Так в базе проектов Всероссийского форума энергоэффективности и энергосбережения «ENES», который в 2016 году будет проводиться в Москве в пятый раз, представлены готовые решения снижения зависимости домостроения от невозобновляемых источников энергии в световременного развития строительной индустрии[2].

Основой проекта «Энергоэффективный дом серии ИС-33-э», осуществленного в Московской области, является энергоэффективный индивидуальный монолитный жилой дом с удельным расходом тепла на отопление не выше $33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год (методика расчета РНПП).

В данном проекте разработана и внедрена концепция оптимального сочетания инженерного оборудования, использующего альтернативные источники энергии и обеспечивающего высочайший уровень комфорта, при минимальных энергетических и финансовых затратах. Система теплового насоса NIBE мощностью 7 кВт с грунтовым коллектором работает в паре с солнечными коллекторами (2 шт. общей $S = 8 \text{ м}^2$), расположенными на эксплуатируемой кровле, и 2-мя буферными емкостями для оптимизации режимов работы теплового насоса и коллекторов. Кроме того тепловой насос может работать в режиме «пассивного» охлаждения, защищая солнечный коллектор от перегрева. Данная система позволяет обеспечить отопление дома, приготовление горячей воды, подогрев приточного воздуха зимой, «пассивное» кондиционирование помещений летом.

Бюджет проекта 18 млн. руб., в том числе дополнительные затраты на повышение энергоэффективности (снижение потребления тепловой энергии) 1,8 млн. руб. (10%). Опыт эксплуатации в 2015 году показал практическую независимость такого дома от традиционных источников энергии (используется 70 % альтернативных, возобновляемых источников энергии), а минимальная потребность традиционных источников энергии обеспечивается электросетью 10 кВт.

Заслуживает внимание проект комплексного освоения территории кварталом энергоэффективных домов в ГО «Жатай», Республика Саха Якутия. Комплексное использование архитектурных решений, строительных технологий, возможностей альтернативной энергетики позволяет экономить до 60 % тепловой и электрической энергии, повышая комфортность проживания в домах средней этажности.

В Сахалинском государственном университете вопросам энергосбережения и энергоэффективности уделяется достаточное внимание. Преподавателями

кафедры электроэнергетики разработаны и внедрены спецкурсы «Энергосбережение и энергоэффективность» и «Возобновляемые источники энергии», подготовлен цикл лабораторных работ по основным темам этих предметов, актуализирована тематика курсовых проектов, всячески поддерживается направление выпускных квалификационных работ, отражающих современные проблемы и решения альтернативной энергетики. Существующее лабораторное оборудование, в том числе, тепловых машин, фотоэлементов, ветроустановок и гидроаккумулирующих станций, позволяет проводить достаточно широкий перечень исследований по проблемам проектирования энергоэкономичных зданий и сооружений.

Как отмечает одна из первых авторов отечественного «солнечного» домостроения (проект «СОЛ-1») архитектор Т. В. Захарова, «энергосберегающие «солнечные» дома должны стать не только источником экономии средств, но и предметом моды». Её мысли разделяет академик, д.т.н., профессор Б. И. Лучков: «Солнечная энергия должна войти в каждый дом и на смену сегодняшним задымленным городам придут города и поселки чистые и светлые. Очень хотелось бы, чтобы это «солнечное половодье» залило и нашу страну».

В нашем представлении солнечная энергетика должна стать базовым элементом современной технологической культуры общества и традиционной практикой инженерных решений в строительстве.

Литература

1. Беляев В.С., Хохлова Л.П. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий. – М.: Высш. шк., 2001. – 255 с.
2. Бюджетный энергоэффективный дом для массового строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://enes-expo.com/docs/golosovanie-2015/3091/p.pdf> (дата обращения: 20.09.2016).
3. Захарова Т. Проект «СОЛ-1» // Строительный путеводитель. – 2001, № 22. – С. 46-49.
4. Лучков Б.И. Солнечный дом – солнечный город // Наука и жизнь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/5090/> (дата обращения: 15.09.2016).
5. Солнечная радиация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sol-A.ru/region_Ru/summ/187/ (дата обращения: 28.09.2016).

*Н.А. Окунев, курсант; Е.С. Битаев, к.т.н.
(ВА ВПВО ВС РФ, г. Смоленск)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА БЛА

Бортовая авиационная РЛС является одной из ключевых систем бортового радиоэлектронного оборудования БЛА предназначенная для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов методом радиолокации, а также для определения их дальности, размеров и вычисления параметров движения. Бортовая РЛС обнаружения малозаметных целей разрабатывается Смоленским научно-инновационным центром радиоэлектронных систем «Завант» (г. Смоленск) совместно с 11 кафедрой (специальных радиотехнических систем) в рамках опытно-конструкторской работы. Особенностью бортовой РЛС является обнаружение резонансных частот в отражательной характеристике и сопровождение по частоте, дальности и пеленгу малозаметных воздушных целей

(БЛА). РЛС размещается на борту БЛА-перехватчика.

Учитывая расчетные данные, построена электродинамическая модель щелевой антенны с использованием пакета CST STUDIO SUITE, в которой реализован плавный компенсационно-экспоненциальный переход, определяющий кривизну щели, согласующей волновое сопротивление входа антенны с сопротивлением свободного пространства. Однако коэффициент стоячей волны щелевой антенны имеет минимальное значение 2,7 на частоте 4,5 ГГц, а среднее значение коэффициента усиления в полосе 2 – 5 ГГц составляет 4 дБ, что не является оптимальным.

Для улучшения параметров антенны необходимо проводить оптимизацию ее параметров с использованием в качестве критерия оптимизации – максимума коэффициента усиления в полосе частот 2 – 5 ГГц. Параметрами оптимизации должны являться координаты X и Y точки, определяющей кривизну сплайна, что является направлением дальнейших исследований.

Предлагаемый алгоритм оптимизации реализован программно в среде программирования Delphi 7 (рис. 1). Работа алгоритма заключается в следующем: после ввода исходных данных (диапазон частот, коэффициент диэлектрической проницаемости диэлектрика, шаг диаграммы направленности) происходит предварительный расчет параметров антенны (2), построение ее электродинамической модели и расчет коэффициента усиления в заданной полосе частот (4). Далее зависимость коэффициента усиления от частоты в заданной полосе экспортируется в программный блок (5), где происходит его оптимизация методом золотого сечения с учетом данных прошлых итераций (7), выводятся следующие предлагаемые значения параметров, определяющих координаты X и Y точки, определяющей кривизну сплайна (8). Затем происходит очередной расчет коэффициента усиления в заданной полосе частот и цикл повторяется до достижения максимального значения коэффициента усиления антенны в полосе частот 2 – 5 ГГц.

В результате оптимизации с использованием разработанного алгоритма получены зависимости коэффициента стоячей волны и коэффициента усиления антенны от частоты (рис. 2).

Из рис. 2, а видно, что рабочая полоса антенны (по уровню КСВ = 2) составляет 3,2 ГГц (2 – 5,2 ГГц), а среднее значение коэффициента усиления в полосе частот 2 – 5 ГГц составляет 9 дБ (рис. 2, б), что удовлетворяет заданным условиям. Получены также диаграммы направленности антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях на центральной частоте 3,5 ГГц (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости составляет $2 \theta_{0.5p}^{\circ} = 61.7^{\circ}$, а в горизонтальной плоскости – $2 \theta_{0.5p}^{\circ} = 29.9^{\circ}$.

По результатам электродинамического моделирования изготовлен опытный образец сверхширокополосной щелевой антенны (рис. 4, а) и произведено экспериментальное исследование его характеристик. На рис. 4, б показан предлагаемый вариант размещения антенны на крыле БЛА.

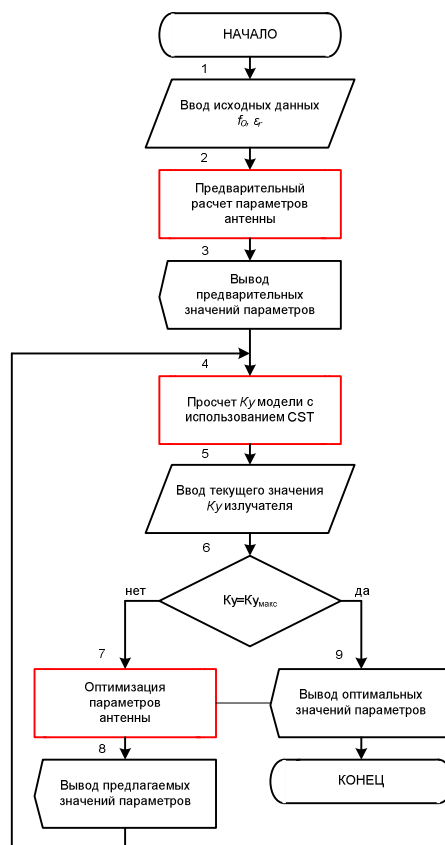


Рисунок 1. — Блок-схема алгоритма оптимизации параметров сверхширокополосной щелевой антенны

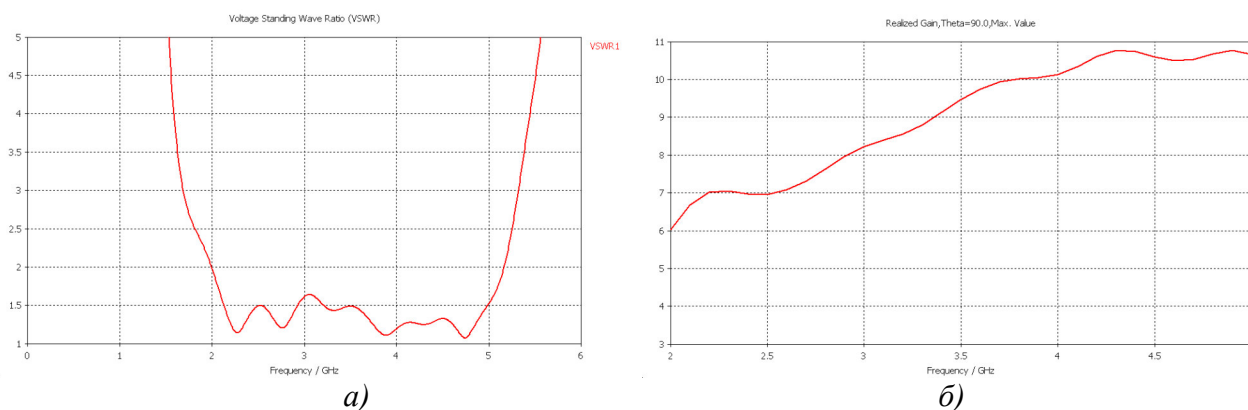
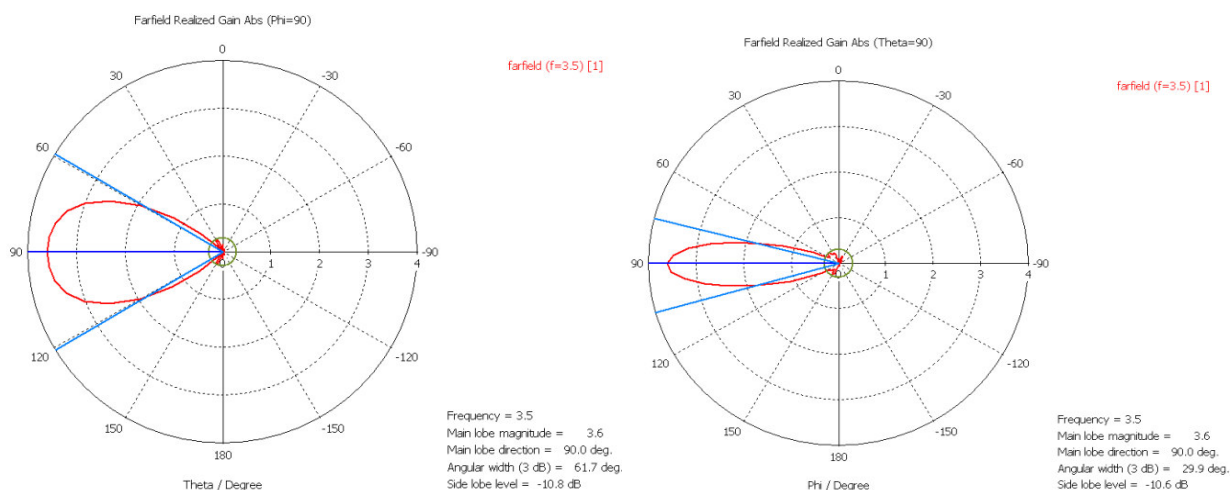


Рисунок 2. — Зависимость коэффициента стояче волны от частоты (а) и зависимость коэффициента усиления от частоты (б) оптимизированной модели щелевой антенны



a)

b)

Рисунок 3. — Диаграммы направленности оптимизированной модели щелевой антенны в вертикальной (a) и горизонтальной (б) плоскостях



a)

b)

Рисунок 4. — Опытный образец оптимизированной щелевой антенны (a) и вариант его размещения на крыле БЛА (б)

На рис. 5 показаны экспериментально полученные зависимости коэффициента стоячей волны и коэффициента усиления от частоты, анализ которых показывает высокое сходство расчетных и экспериментально полученных данных, что подтверждает адекватность разработанного алгоритма оптимизации параметров сверхширокополосной щелевой антенны.

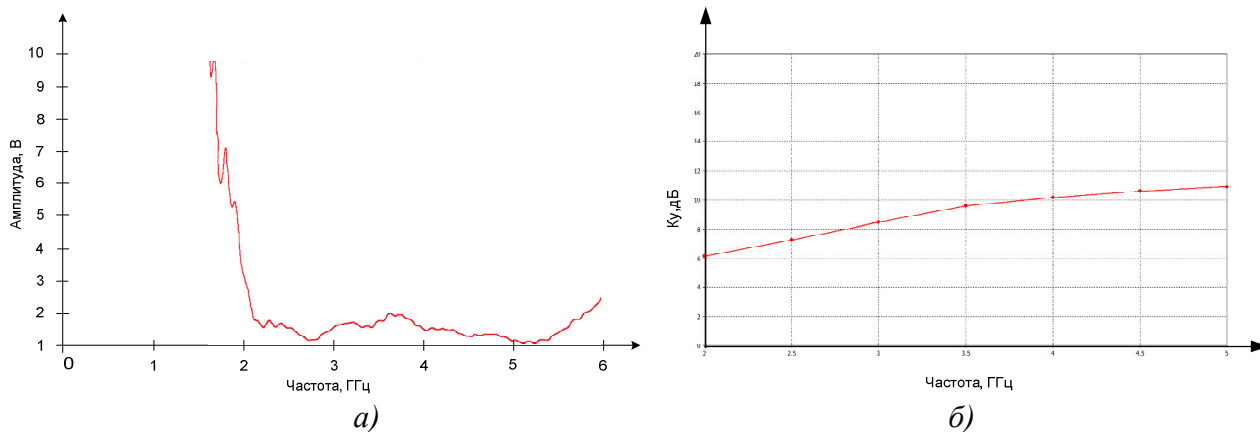


Рисунок 5. — Зависимость коэффициента стояче волны от частоты (а) и зависимости коэффициента усиления от частоты (б) опытного образца щелевой антенны

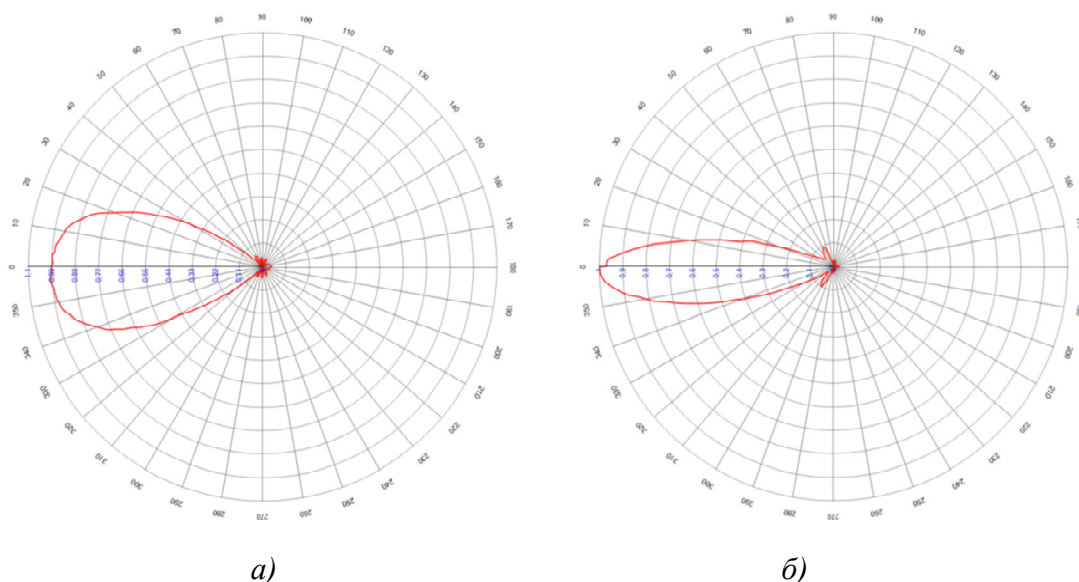


Рисунок 6. — Экспериментальные диаграммы направленности опытного образца сверхширокополосной щелевой антенны в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

Экспериментально полученные диаграммы направленности сверхширокополосной щелевой антенны для бортовой РЛС (рис. 6) имеют ширину в вертикальной плоскости $2\theta_{0.5p}^{\circ} = 50^{\circ}$, а в горизонтальной плоскости - $2\theta_{0.5p}^{\circ} = 30^{\circ}$, что удовлетворяет предъявленным требованиям.

Таким образом, в ходе исследований разработан алгоритм оптимизации параметров сверхширокополосной щелевой антенны позволяющий получить оптимальные параметры зависимости коэффициента усиления сверхширокополосной щелевой антенны бортового радиолокатора от частоты в диапазоне 2 – 5 ГГц. Результаты экспериментальных исследований опытного образца антенны имеют высокую степень схожести с расчетными данными, что подтверждает адекватность предложенного алгоритма оптимизации.

1. Зайцев А. В., Битаев Е. С. Измерение диаграммы направленности сверхширокополосных антенн импульсным методом // Материалы XVII военно-научной конференции. Ч. 3. Смоленск, ВА ВПВО ВС РФ, 2010.
2. Битаев Е. С., Амозов Е. В. Формирование диаграммы направленности равноамплитудной печатной антенной решеткой // Математическая морфология. Том 10. Выпуск 2. 2011.
3. Зайцев А. В., Битаев Е. С., Амозов Е. В. Способ формирования специального амплитудного и фазового распределения в системе питания СШП линейной печатной антенной решетки // Материалы 67-й Всероссийской конференции с международным участием «Научная сессия, посвященная дню радио (RDC-2012)».

*И.С. Полющенков, к.т.н., ст. преподаватель
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Следящие электроприводы используются в различных системах управления движением – металлорежущих станках, антенных установках, системах стабилизации наведения и многих других. Современные электроприводы имеют в своём составе электрический двигатель, силовой преобразователь, электронную управляющую часть и средства сопряжения с внешними устройствами. Анализ технических характеристик современных электроприводов показал, что кроме функций управления движением они выполняют различные вспомогательные функции, чем обеспечивается их работа в составе сложных электромеханических систем, взаимодействие с различными периферийными устройствами, настройка и интерактивное управление. Функции управления движением характеризуются показателями по точности и быстродействию отработки задающих воздействий и отработки реакции на возмущающие воздействия в статических и динамических режимах. К таким показателям в режиме регулирования положения относятся точность позиционирования, добротность по скорости и добротность по ускорению. В режиме регулирования скорости электроприводы характеризуются диапазоном регулирования скорости и точностью её стабилизации. Быстродействие электропривода в целом и быстродействие отдельных его контуров характеризуется полосой пропускания.

В следящих электроприводах могут использоваться различные типы электрических машин. В новых поколениях высокоточных быстродействующих следящих систем актуально использование электроприводов на базе синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов, которые в российской традиции называются вентильными электрическими машинами, так как они используются только совместно с полупроводниковыми преобразователями. По сравнению с электрическими машинами постоянного тока их преимуществом является отсутствие коллекторного узла, что повышает их надёжность, а по сравнению с асинхронными электрическими машинами они имеют более простое регулирование электромагнитного момента и улучшенные массогабаритные показатели, так как магнитный поток в них создаётся магнитной системой возбуждения (постоянными магнитами).

Несмотря на востребованность следящих электромеханических систем,

комплектные вентильные электроприводы малой и средней мощности в России выпускаются небольшими сериями ограниченной номенклатуры.

В системах управления современных электроприводов широко используется микропроцессорная техника. В качестве примеров микроконтроллеров, используемых в системах управления электроприводов, можно привести 32-разрядные микроконтроллеры *STM* и *TMS*. При разработке программного обеспечения для различных технических систем, в том числе и для электроприводов, используются различные средства проектирования и отладки, например, *IAR*, *Keil*, *Code Composer Studio*. Однако традиционные средства проектирования не всегда позволяют представить программное обеспечение в форме, которая удобна для восприятия, раскрывает связи между программными модулями, а также условия и порядок их взаимодействия, что может создать трудности при разработке. Среди методов проектирования программного обеспечения можно выделить метод модельно-ориентированного программирования. Средством для реализации этого метода программирования является система компьютерной математики *Matlab* и его расширения. Указанный метод позволяет использовать средства компьютерного моделирования для проектирования программного обеспечения микропроцессорных систем, представив его в удобной и наглядной графической форме, аналогичной обычным математическим и имитационным моделям, и распределив при этом программные и аппаратные ресурсы микроконтроллера для решения поставленных задач.

В докладе приводятся основные результаты разработки следящего вентильного электропривода, программное обеспечение микропроцессорной системы управления которого разработано методом модельно-ориентированного программирования. Указанный метод программирования применён для решения совокупности задач управления электрическим двигателем, регулирования координат и взаимодействия с периферийными и управляющими устройствами.

В целом в ходе работы над электроприводом получены следующие результаты:

1) Разработанный электропривод с вентильным электрическим двигателем может работать в режимах стабилизации скорости движения, слежения и позиционирования, а также в режиме разомкнутой системы. Задающее воздействие для электропривода может указываться по цифровым линиям связи (асинхронный приёмопередатчик, *CAN*), а также от аналогового задающего устройства.

2) Возможность работы электропривода в указанных режимах и в целом решение задач регулирования координат (положения, скорости, тока) обеспечивается применением многоконтурной замкнутой системы регулирования, функциональная схема которой показана на рис.1. Внутренний контур регулирования используется для управления силовым полупроводниковым преобразователем (СПП) и переключения фаз вентильного двигателя (ВД) в зависимости от положения его ротора по сигналам датчиков Холла (H_A , H_B , H_C) в двигательном режиме и в генераторных режимах

работы электропривода. Этот контур, управляемый блоком коммутации фаз (БК) разомкнутым состоянием остальных контуров обеспечивает работу в режиме разомкнутой системы. При этом ограничение тока осуществляется с помощью отрицательной обратной связи по току электрического двигателя с отсечкой (ТО).

Для работы в режиме стабилизации скорости внутренний контур охватывается контуром регулирования скорости РС с ПИД-регулятором, что позволяет достигнуть астатизма первого системы регулирования по нагрузке и астатизма первого порядка по задающему воздействию при высоком демпфировании колебаний в переходных процессах.

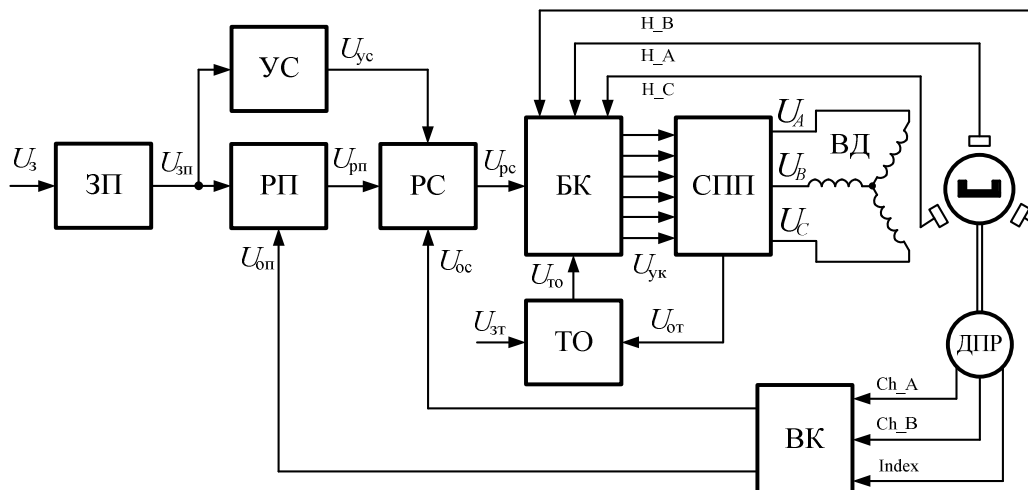


Рисунок 1. — Функциональная схема системы управления электропривода

Для работы в режимах регулирования положения (слежение и позиционирование) контур регулирования скорости охватывается контуром регулирования положения с ПИД-регулятором РП. Для повышения динамической точности регулирования положения (повышения порядка астатизма по управляющему воздействию) контур регулирования положения имеет упреждающие связи УС по скорости и ускорению.

Для формирования переходных процессов в режимах регулирования скорости и положения предусмотрены задатчики скорости и положения. Задатчик скорости обеспечивает отработку процессов пуска и торможения с заданным ускорением. Задатчик перемещения ЗП используется для формирования траектории движения с ограничением скорости и ускорения (*S*-образная траектория).

Для определения положения ротора вентильного двигателя используется датчик положения ротора ДПР (инкрементальный энкодер). Вычислитель координат ВК по последовательностям импульсов энкодера *Ch_A* и *Ch_B* рассчитывает угол поворота ротора и скорость его вращения, которые используются в качестве обратных связей по соответствующим координатам движения.

Регуляторы, вычислитель координат, блок коммутации, задатчики скорости и перемещения и узел токоограничения реализованы программно. Сбор информации о переменных состоянии электропривода (координатах движения и

токе электрического двигателя) осуществляется соответствующими датчиками механических и электрических величин.

3) Программное обеспечение системы управления на базе микроконтроллера *STM32* разработано методом модельно-ориентированного программирования при использовании средств системы компьютерной математики *Matlab* и пакета его расширения *Waijung Blockset*. Программное обеспечение представлено в графической форме в виде исполняемой модели, которая соответствует принципам работы электропривода и воспроизводит логику алгоритма управления. Верхний уровень декомпозиции исполняемой модели показан на рис.2.

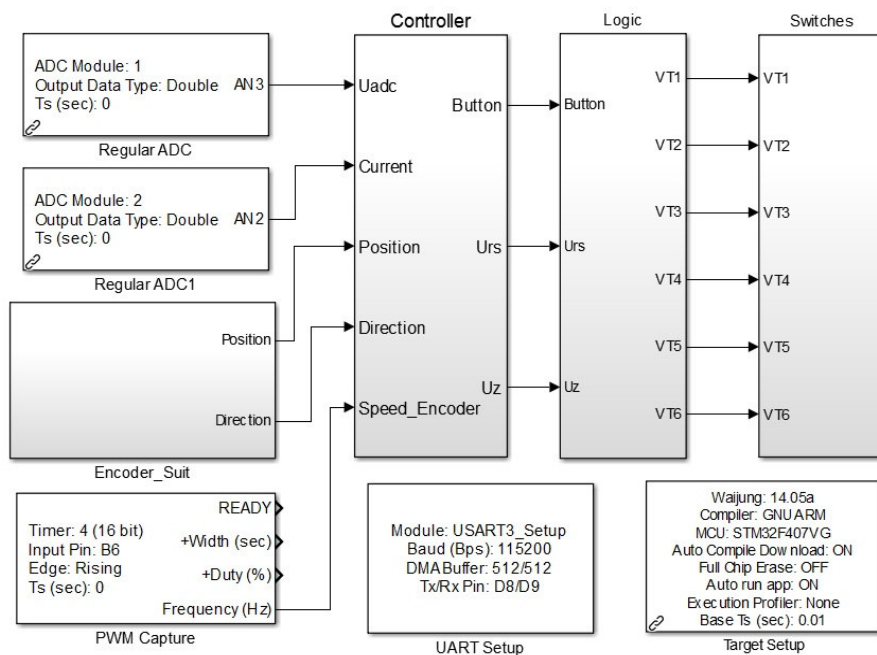


Рисунок 2. — Исполняемая модель системы управления электропривода

В исполняемой модели имеется подсистема для регулирования координат (*Controller*), подсистема для управления последовательным переключением фаз вентильного двигателя (*Logic*), подсистема для управления транзисторным преобразователем (*Switches*) и подсистема для вычисления угла поворота ротора (*Encoder_Suit*). В модели использованы различные средства *Matlab* – блоки *Simulink* и *Waijung Blockset*, блоки *S*-функций, диаграммы состояний *Stateflow* и блоки для интегрирования в модель пользовательских функций на языке *C*. Модельные блоки *Waijung Blockset* позволяют задействовать аппаратные средства микроконтроллера – линии ввода-вывода цифровых сигналов и ввода аналоговых сигналов (*Regular ADC*), таймеры-счётчики для захвата (*PWM Capture*) и генерирования последовательностей импульсов, модули передачи, отслеживания и захвата информационных пакетов. Модельный блок *Target Setup* предназначен для настройки конфигурации микроконтроллера и средств генерирования программного кода. Модельный блок *UART Setup* использован для настройки асинхронного последовательного приёмопередатчика.

4) Предусмотрено сохранение параметров корректирующих элементов (регуляторов, обратных связей, задатчиков) в памяти постоянного

запоминающего устройства (ПЗУ), доступ к которому осуществляется по шине *I2C*. Резервная копия указанных данных хранится во флэш-памяти микроконтроллера.

5) В системе управления ведётся регистрация событий, к которым относятся превышение уставок скорости и тока, неисправность датчиков и другого периферийного оборудования, некорректная работа регуляторов скорости и положения.

6) Разработан и реализован протокол данными по асинхронному интерфейсу *UART* и по шине *CAN* между электроприводом и системой управления верхнего уровня. На рис.3 показан формат входящего сообщения протокола обмена данными по асинхронному интерфейсу.

Б0	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8	Б9	Б10	Б11	Б12	Б13	Б14	Б15	Б16	Б17	Б18	Б19
Блок 0 (uint16)		Блок 1 (uint32)				Блок 2 (uint32)				Блок 3 (uint32)				Блок 4 (uint32)				Блок 5 (uint16)	
Начало пакета		Код операции		Адрес абонента		Данные				Данные				Контрольная сумма (CRC32)				Конец пакета	
Б0	Б1	Б0	Б1	Б0	Б1	Б0	Б1	Б2	Б3	Б0	Б1	Б2	Б3	Б0	Б1	Б2	Б3	Б0	Б1

Рисунок 3. — Формат входящего сообщения в протоколе обмена данными

7) Разработана, изготовлена и испытана аппаратная часть системы управления электропривода – платы силового преобразователя и платы управления. В совокупности обе платы имеют необходимые средства для подключения датчиков Холла, энкодеров, аналоговых задатчиков скорости и положения, а также цифровых интерфейсов для сопряжения с системой управления верхнего уровня и с различными датчиками.

8) Для интерактивного управления электроприводом разработано приложение для *Windows*. Используя протокол обмена данными (пункт 6), это приложение позволяет выбирать режим работы электропривода и источник задающих сигналов, задавать коэффициенты корректирующих элементов (регуляторов и обратных связей) при настройке электропривода, отслеживать текущие координаты движения (положение, скорость, ток) и отображать информацию о текущем состоянии электропривода.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что предложенный вентильный электропривод может быть использован в различных электромеханических системах, требующих динамичного и высокоточного регулирования координат, заменив иностранные аналоги. Практические результаты разработки программного обеспечения микропроцессорной системы управления электропривода, полученные благодаря применению метода и средств модельно-ориентированного программирования, могут быть использованы как типовые решения при проектировании различных электротехнических и электромеханических устройств и систем. Теоретические результаты решения комплекса задач управления электрическим двигателем, регулирования координат и взаимодействия электропривода с периферийными устройствами могут быть использованы в качестве учебно-методических материалов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМУ ИНТЕРФЕЙСУ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В современных электромеханических, электротехнических и электроэнергетических системах широко используются электронные управляющие устройства, измерительные устройства (датчики физических величин), устройства индикации и оперативного управления, которые могут быть разнесены в пространстве. Для согласованной работы всех этих устройств в составе технических систем требуется организовать обмен данными между ними. Для этой цели используются различные цифровые интерфейсы, которые, как правило, встроены в технические устройства и оборудование и стандартизированы.

Интерфейс – это определённая стандартами граница между взаимодействующими объектами, которая определяет физические и электрические свойства сигналов при обмене информацией между устройствами. Интерфейс может иметь несколько уровней, каждый из которых принимает сообщения от нижнего уровня и предоставляет результаты обработки более высокому уровню и наоборот. Функционирование цифрового интерфейса дополняется протоколом обмена, который устанавливает логические процедуры по обработке сообщений. Стандартами устанавливаются скорость обмена данными, правила доступа устройств к сети и порядок передачи данных (уплотнение, мультиплексирование, кодирование), алгоритм использования сети (разделение сигналов при передаче и приёме) и функции наблюдения за исправностью линий связи.

Наиболее простыми и распространёнными цифровыми интерфейсами являются последовательные интерфейсы, по которым данные передаются последовательно в виде структурированных пакетов. В вычислительных устройствах обычно имеются встроенные модули сопряжения с промышленными сетями по различным интерфейсным шинам, например, *CAN (Controller Area Network)*, *I2C (Inter-Integrated Circuit)* и асинхронным интерфейсам.

В докладе рассматривается разработка программного обеспечения последовательного асинхронного интерфейса с применением метода модельно-ориентированного программирования для использования при управлении электромеханической системой (электроприводом).

Для вычислительных устройств, осуществляющих приём и передачу информации, требуется подготовить программное обеспечение, которое позволяет реализовать алгоритмы доступа к промышленным сетям и обработки информации. Среди методов проектирования программного обеспечения можно выделить метод модельно-ориентированного программирования. Этот метод позволяет использовать средства компьютерного моделирования при проектировании программного

обеспечения микропроцессорных систем, представив его в удобной графической форме, аналогичной обычным математическим и имитационным моделям. Например, для программирования микроконтроллеров *STM32* могут быть использованы система компьютерной математики *Matlab* и пакет его расширения *Waijung Blockset*. При компиляции из исполняемой модели генерируется программный код, который аналогичен коду, получаемому при использовании традиционных средств разработки (например, *IAR* или *Keil*).

Метод модельно-ориентированного программирования был использован автором доклада при проектировании системы управления следящего вентильного электропривода. Программное обеспечение системы управления на базе микроконтроллера *STM32* представлено в графической форме в виде исполняемой модели, которая соответствует принципам работы электропривода и воспроизводит логику алгоритма управления. В исполняемой модели использованы различные средства *Matlab* – блоки *Simulink* и *Waijung*, блоки *S*-функций, диаграммы состояний *Stateflow* и блоки, которые интегрируют в модель пользовательские функции на языке *C*. Модельные блоки *Waijung Blockset* позволяют задействовать аппаратные средства микроконтроллера – линии ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов, таймеры-счётчики для захвата и генерирования последовательностей импульсов, модули передачи, отслеживания и захвата информационных пакетов.

Для полноценного функционирования электропривода в составе электромеханической системы требуется реализовать интерактивное управление, которое заключается в обмене данными между электроприводом и системой управления верхнего уровня. Системе управления электропривода при этом передаются задающие воздействия (перемещение, скорость, ускорение) и служебные команды, а также передаются параметры корректирующих звеньев (регуляторов, обратных связей и задатчиков) при настройке. Кроме того, требуется выбирать режимы работы электропривода (слежение, позиционирование, стабилизация скорости движения) и выбирать источники задающих воздействий, которые могут подаваться на аналоговые, дискретные или цифровые входы системы управления. В ответных сообщениях система управления электропривода должна передавать системе управления верхнего уровня текущие координаты движения и контрольную информацию о своём состоянии.

Следующий пример иллюстрирует принцип составления исполняемых моделей в *Matlab*, а также позволяет соотнести задачи интерактивного управления и обмена информацией со структурой исполняемых моделей. На рис.1 показана подсистема исполняемой модели вентильного электропривода, которая предназначена для вычисления угла поворота ротора электрического двигателя и скорости его вращения. Модельный блок обработчика энкодера *Encoder Read 1* из библиотеки *Waijung Blockset* преобразует последовательности импульсов от двух каналов энкодера *A* и *B* в угловое положение ротора в пределах одного его оборота. Модельный блок *Basic*

Custom Code интегрирует в исполняемую модель функцию на языке C, которая вычисляет угол поворота ротора по величине текущего и предшествующего значений его углового положения. Входным параметром этой функции является число импульсов от энкодера, которое соответствует одному обороту ротора – блок *EncMax1*. От величины этого параметра зависит разрешающая способность энкодера. Аналогичный параметр используется при настройке модельного блока обработчика энкодера *Encoder Read 1*.

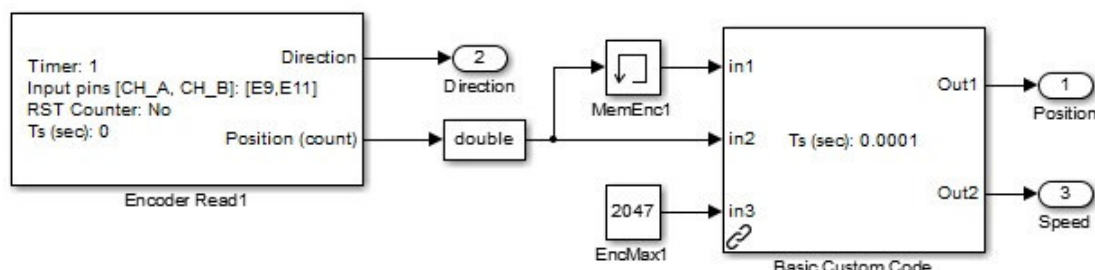


Рисунок 1. — Схема подсистемы исполняемой модели

Следовательно, для настройки системы управления электропривода при заданной разрешающей способности энкодера требуется передать ей указанный параметр без перезаписи программы в память микроконтроллера. Аналогичным образом требуется задавать значения параметров других модельных блоков из различных библиотек *Matlab/Simulink* и *Waijung Blockset*, которые использованы в исполняемой модели и осуществляют регулирование и ограничение координат и переменных состояния электропривода.

В докладе показано, что применение средств модельно-ориентированного программирования значительно упрощает процесс составления программного обеспечения. В частности, при использовании метода модельно-ориентированного программирования для реализации обмена данными требуется только формировать пакеты при передаче и интерпретировать их при приёме. Формирование пакетов осуществляется путём группировки данных (настроечных коэффициентов и параметров системы регулирования) различных числовых форматов в заданной последовательности.

На рис.2 и рис.3 показаны схемы подсистем исполняемой модели, которые выполняют приём и интерпретацию сообщений. Модельный блок приёмника асинхронного приёмопередатчика *UART Rx* (рис.2) позволяет реализовать алгоритм доступа к сети по асинхронному последовательному интерфейсу. Управляемые подсистемы *Solver* и *DataLogic* обрабатывают сообщения и выполняют действия, заданные в них, например, вызывают подсистемы *I2CRead* и *I2CWrite*.

Сообщения, принимаемые системой управления электропривода, имеют фиксированную длину (20 байтов) и постоянную структуру, в которой предусмотрены следующие блоки:

- Программируемый признак начала пакета (2 байта).
- Адрес абонента (2 байта).
- Код операции (2 байта).
- Два блока данных длиной по 4 байта каждое (формат *uint32*).

- Поле контрольной суммы *CRC32* (4 байта, формат *uint32*).
- Программируемый признак конца пакета (2 байта).

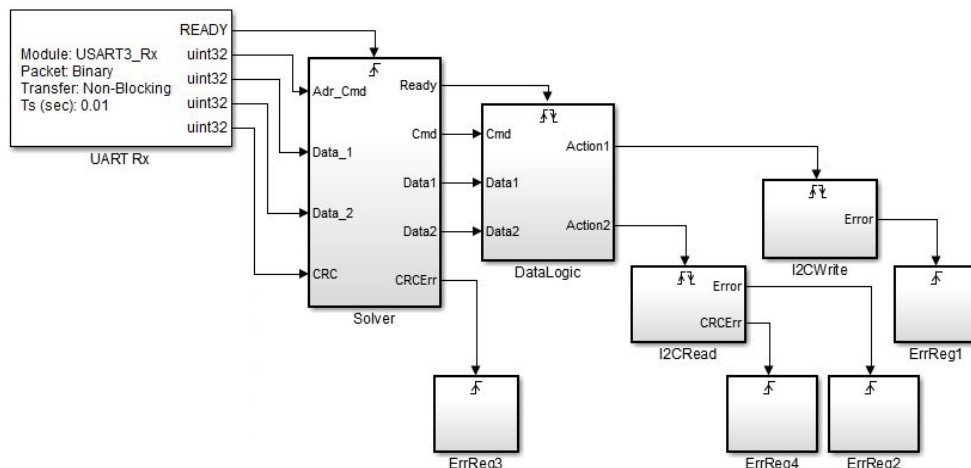


Рисунок 2. — Схема подсистемы исполняемой модели для приёма сообщений

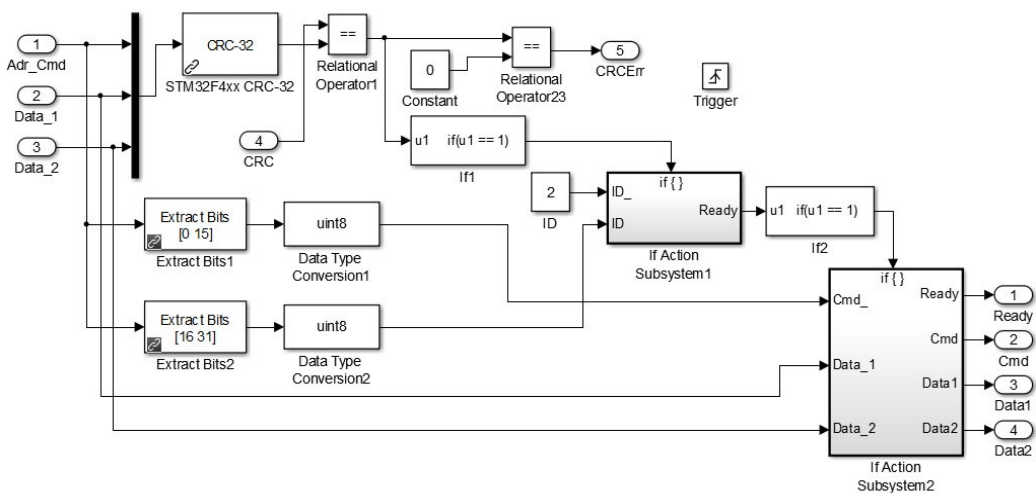


Рисунок 3. — Схема подсистемы исполняемой модели для обработки сообщений

Модель подсистемы *Solver*, показанная на рис.3, выделяет поле адреса абонента и поле кода операции, а также осуществляет проверку целостности данных. Все поля сообщения объединены в блоки формата *uint32*. Этот формат соответствует основанию алгоритма расчёта контрольной суммы *CRC32*, который выполняется микроконтроллером *STM32* с помощью специального аппаратного модуля. Подсистема *ErrReg3* на рис.2 регистрирует нарушение целостности принятых данных.

Так как сообщения имеют фиксированную структуру и заданный формат информационных блоков, но могут содержать данные различных числовых форматов, то для формирования сообщений при передаче и их интерпретации при приёме используются специальные программные средства – модельные подсистемы *Simulink* и *C-функции*, интегрированные в исполняемую модель.

Для интерпретации принятых пакетов требуется выделить из них поля данных заданных числовых форматов. При этом набор полей в пакете зависит от кода операции (идентификатора данных). Поле кода операции определяет

какое-либо действие или идентифицирует передаваемые в сообщении параметры. Например, если в сообщении содержатся параметры регулятора положения, то блок *Data1* разделяется подсистемой *DataLogic* на два поля формата *uint16* – пропорциональный и интегральный коэффициенты, а блок *Data2* также разделяется на два поля *uint16* – дифференциальный коэффициент регулятора и коэффициент обратной связи контура регулирования положения.

При формировании системой управления электропривода ответных сообщений требуется объединить все передаваемые данные (координаты движения, параметры корректирующих звеньев, параметры состояния электропривода, подтверждение о выполнении какого-либо действия) и сопроводительную информацию (идентификатор передаваемых данных и адрес абонента) в массив блоков формата *uint32* и, вычислив его контрольную сумму *CRC32*, получить пакет данных. Это пакет отсылается в сеть блоком *UART Tx* библиотеки *Waijung Blockset*. Идентификатор данных указывает, набор каких именно данных содержится в сообщении.

Разработанное программное обеспечение показало свою работоспособность при управлении электрическим приводом. При этом в качестве системы управления верхнего уровня использовался персональный компьютер и специальное приложение для *Windows*, которое отображает координаты движения электропривода и реализует функционал управления электроприводом.

Практика применения средств модельно-ориентированного программирования позволяет сделать вывод, что они обладают широкими функциональными возможностями для разработки полноценного программного обеспечения для микропроцессорных систем управления, которое не уступает по функциональности программному обеспечению, разработанному с использованием традиционных методов и средств программирования.

Можно сформулировать преимущества средств модельно-ориентированного программирования по сравнению с традиционными средствами разработки программного обеспечения:

- Удобство и наглядность представления структуры системы управления и её программного обеспечения, а также взаимодействия их составных частей.
- Возможность непосредственного использования математических моделей или их составных частей при разработке прикладного программного обеспечения.
- Наличие библиотеки функционально завершённых блоков, выполняющих типовые вычислительные функции, функции использования аппаратных средств микроконтроллера и функции связи с периферийными устройствами технических систем.
- Простота адаптации исполняемой модели к различной элементной базе.
- Упрощение и ускорение разработки, так как не требуется знание языков программирования и особенностей структуры микроконтроллера.

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ

В докладе рассматривается методика синтеза системы регулирования следящего электропривода (ЭП) при наличии упругой механической связи.

Рассмотрено решение задач:

1. Оценка актуальности темы исследования.
2. Выбор структуры замкнутой системы регулирования положения.
3. Демпфирование упругих колебаний средствами управления.
4. Определения параметров корректирующих звеньев.
5. Определение ограничений и предельных характеристик системы регулирования и отдельных её контуров.

Для значительного числа электроприводов требуется обеспечить большие моменты при сравнительно небольших скоростях движения. Это в первую очередь относится к следящим и позиционным электроприводам, которые, кроме того, должны обеспечивать повышенную точность и качество регулирования координат в статических и в динамических режимах. При этом большая часть электрических двигателей имеют высокие скорости вращения при сравнительно низких значениях электромагнитного момента. При невозможности использования специальных тихоходных высокомоментных электрических двигателей для прямого привода очевидным решением является применение редукторных кинематических передач с большим передаточным числом, что, однако, приводит к снижению жёсткости механической части электропривода.

Динамические свойства электроприводов с упругими механическими связями описываются дифференциальными уравнениями высоких порядков. Следовательно, динамическое состояние электропривода определяется большим числом переменных и не всегда возможно обеспечить стабильность движения таких электроприводов простыми средствами управления в виде одной обратной связи по выходной координате и одного регулятора. Эффективным способом решению такой задачи может быть, например, метод параллельной коррекции на основе модального управления [1]. Однако метод подчиненного регулирования координат благодаря сравнительной простоте реализации всё же может быть использован для регулирования координат упругой электромеханической системы, если учитывать особенностей её динамики.

На рис.1 показана функциональная схема следящего электропривода с подчинённым регулированием координат при наличии упругой механической связи (УС) между инерционными массами ИМ1 и ИМ2. Целью управления является регулирование положения второй инерционной массы.

Первая инерционная масса ИМ1 образована ротором электрического двигателя и жёстко соединёнными с ним элементами кинематической цепи.

Вторая инерционная масса образована рабочим органом исполнительного механизма и жёстко соединёнными с ним элементами кинематической цепи.

Система управления с двигателем постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) устроена по принципу подчинённого регулирования координат и имеет три контура – контуры регулирования тока якорной цепи (КРТ), скорости первой инерционной массы (КРС) и положения второй инерционной массы (КРП). Для реализации указанных контуров в системе управления предусмотрены регулятор тока (РТ), регулятор скорости (РС) и регулятор положения (РП). Сигналы соответствующих обратных связей снимаются с датчика тока (ДТ), датчика скорости (ДС), жёстко соединённый с ротором электрического двигателя, и датчика положения (ДП), жёстко соединённый с исполнительным органом механизма. Управляющее воздействие (напряжение якорной цепи) на электрический двигатель формируется управляемым преобразователем (УП).

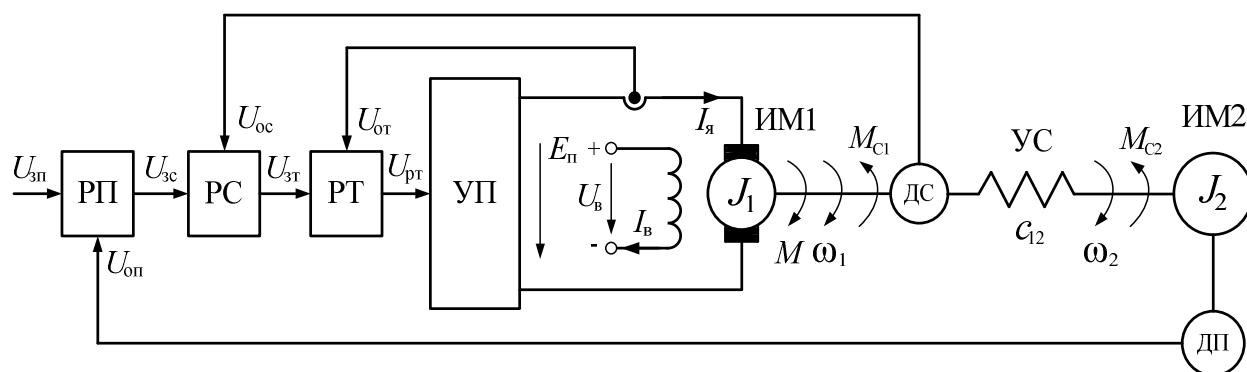


Рисунок 1. — Функциональная схема следящего электропривода с двухмассовой механической частью

Анализ литературных источников и результаты расчётов и моделирования показали, что влияние упругой механической связи на динамику электропривода носит негативный характер. Если при наличии существенной упругой механической связи не учитывать её и использовать методику синтеза как для жёсткой системы, то в зависимости от соотношения параметров замкнутой системы регулирования в ней могут возникнуть упругие электромеханические колебания, в том числе, и слабо демпфированные. К таким параметрам относятся постоянная времени упругих колебаний механической системы, коэффициент распределения инерционных масс и полоса пропускания управляемого преобразователя.

Причиной упругих электромеханических колебаний является электромеханическая связь между электрическим двигателем и механической нагрузкой, которая приводит к обмену энергией между ними и взаимным преобразованиям электрической энергии и механической энергии. Электропривод обладает способностью демпфировать, то есть подавлять, упругие электромеханические колебания путём отвода его электрической частью энергии от механической части с её последующим необратимым преобразованием – рассеиванием на активном сопротивлении в виде тепла или

рекуперацией в питающую сеть [2], [3].

В отличие от электропривода с жёсткой механической связью, при наличии упругой связи в замкнутой системе регулирования кроме задач стабилизации и ограничения координат должна решаться задача демпфирования упругих электромеханических колебаний.

В рассматриваемой системе электропривода задача демпфирования упругих электромеханических колебаний решается путём соответствующей настройки контура регулирования скорости первой инерционной массы и подчинённого контура регулирования тока якорной цепи. В отличие от электропривода с жёсткой механической частью контуры регулирования тока и скорости рассчитываются исходя из условия максимально возможного демпфирования упругих колебаний. Требования к быстродействию и точности регулирования скорости при этом считаются вторичными. При правильном подборе параметров регуляторов тока и скорости демпфирующее действие электропривода может быть усилено до предельного уровня. Физически демпфирование достигается за счёт компенсации колебательных процессов инерционным действием на них корректирующих звеньев.

Математической основой для синтеза контуров регулирования тока и скорости служит структурная схема скоростной подсистемы электропривода, показанная на рис.2. Структурная схема контура регулирования тока показана на рис.3.

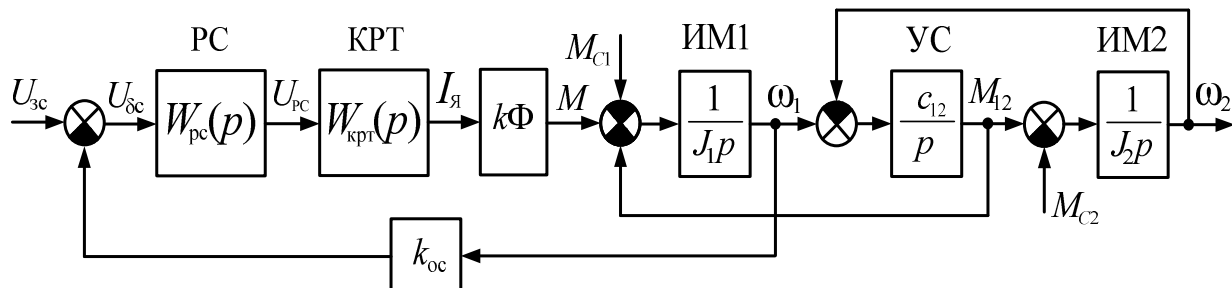


Рисунок 2. — Структурная схема скоростной подсистемы

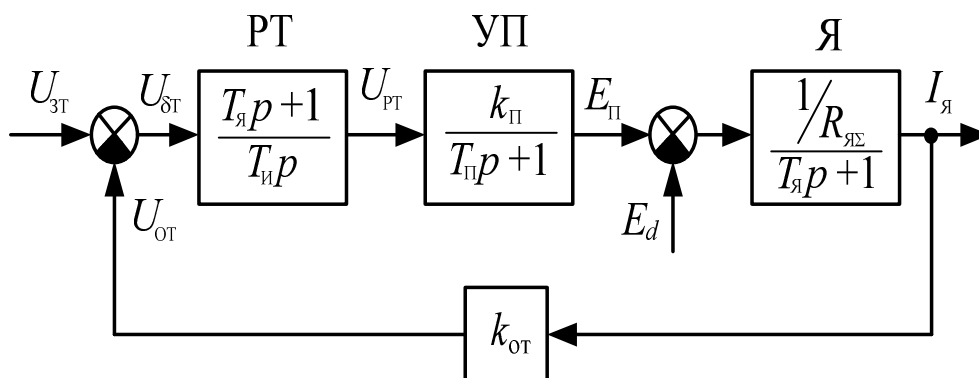


Рисунок 3. — Структурная схема контура регулирования тока

Для астатического регулирования скорости при изменении момента нагрузки использован пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор).

На основе характеристического полинома скоростной подсистемы получены аналитические соотношения для расчёта коэффициентов

регуляторов тока и скорости. Эти соотношения позволяют сделать вывод, что предельная степень демпфирования упругих колебаний зависит от коэффициента распределения инерционных масс γ .

При $\gamma = 1.57 \div 2.5$ скоростная подсистема имеет минимальную колебательность при максимальном быстродействии, что соответствует типовым настройкам контура регулирования скорости на технический и симметричный оптимумы. При меньших значениях коэффициента распределения инерционных масс колебательность скоростной подсистемы увеличивается, а при больших значениях – она уменьшается. Это условие является одним из ограничений систем подчинённого регулирования по сравнению с системами с параллельной коррекцией.

Следующим этапом является синтез контура регулирования положения, структурная схема которого показана на рис.4.

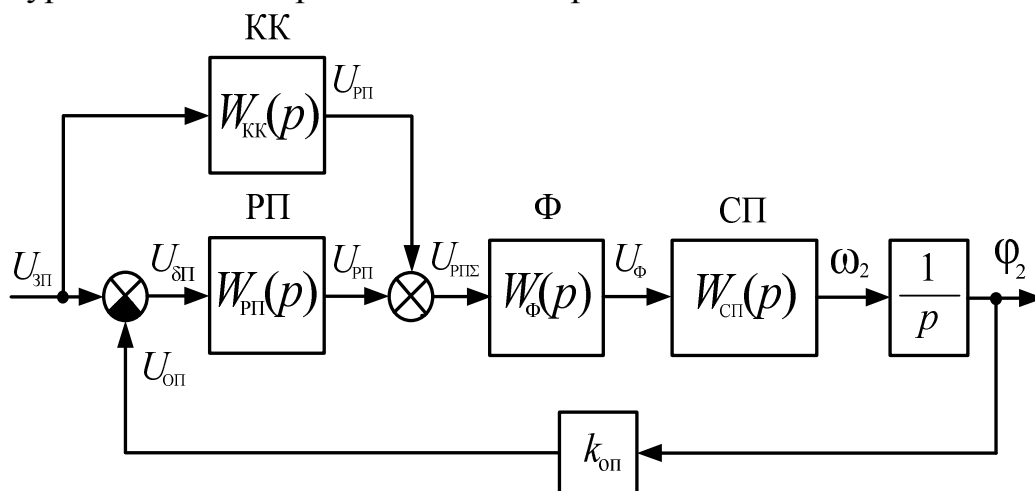


Рисунок 4. — Структурная схема контура регулирования положения

Фильтр Φ в КРП предусмотрен для компенсации нуля передаточной функции скоростной подсистемы, наличие которого обусловлено использованием ПИ-регулятора скорости. Регулятор положения выбран пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД-регулятор), так как он имеет три степени свободы для обеспечения устойчивости и коррекции динамических свойств системы регулирования при сравнительно простой физической реализации.

Определение параметров регулятора положения осуществляется исходя из условия заданного запаса устойчивости КРП, для чего по методу нормированных полиномов получен характеристический полином КРП.

Базовая частота КРП, параметр, характеризующий быстродействие системы, рассчитывается исходя из соотношения некорректируемых коэффициентов характеристического полинома КРП. Указанное обстоятельство вызвано недостаточными возможностями управления электроприводами со сложной механической частью при использовании метода подчинённого регулирования по ограниченному количеству координат и приводит к существенному снижению быстродействия КРП по сравнению с подчинённым ему КРС. Для повышения порядка астатизма системы по

управляющему воздействию введён компенсирующий канал (КК), образованный упреждающими связями по заданным параметрам движения второй инерционной массы – скорости и ускорению.

В системе компьютерной математики *Mathcad* составлена программа для расчёта корректирующих звеньев в соответствии с рассмотренной методикой. Исходными данными являются параметры электрического двигателя и двухмассовой механической части. В системе компьютерной математики *Matlab* составлена математическая модель для оценки динамических свойств предложенной системы регулирования. Результаты компьютерного моделирования динамических процессов при отработке контуром регулирования скорости и контуром регулирования положения типовых задающих и возмущающих воздействий показали адекватность выведенных аналитических соотношений. Демпфирующее действие электропривода, усиленное благодаря компенсации колебательных процессов звеньями с инерционными свойствами, позволяет получить контур регулирования скорости с расчётной колебательностью свободной составляющей движения. Динамические свойства контура регулирования положения при наличии компенсирующего канала соответствуют расчётным значениям.

Основные выводы и результаты:

1. Предложена система следящего электропривода с упругой механической связью в двухмассовой механической части на основе подчинённого регулирования координат.

2. Для синтеза контуров регулирования тока, скорости и положения использовано явление демпфирующего действия электропривода.

3. Выбрана структура регуляторов тока и скорости и предложена методика расчёта их параметров для усиления демпфирующего действия электропривода.

4. Показано, что максимальный демпфирующий эффект электропривода зависит от коэффициента распределения инерционных масс.

5. Показано, что метод подчинённого регулирования обладает ограниченными возможностями при управлении электроприводами с двухмассовой механической частью.

6. Результаты компьютерного моделирования показали адекватность предложенного метода расчёта.

7. В системе регулирования использован двигатель постоянного тока независимого возбуждения, но метод синтеза может быть применён и для электрических двигателей других типов, имеющих линейную механическую характеристику.

Литература

1. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия. – 2005. – 300 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Задорожний Н.А. Элементы теории электромеханического взаимодействия в двухмассовых системах электропривода с упругими связями: Учебное пособие. – Часть 1. – Краматорск: – ДГМА, 2006. – 58 с.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В АВТОМОБИЛЯХ

При проектировании автотранспорта большое внимание уделяется созданию комфортных условий в салонах автомобилей. Эта задача может быть решена использованием специальных средств кондиционирования воздуха, с помощью которых достигается благоприятный для человека микроклимат.

В большинстве случаев данные системы реализуются на основе фреоновых агрегатов компрессионного типа, которые при относительно высоком к.п.д. имеют ряд недостатков, среди них возможность загрязнения окружающей среды и невысокая надежность в чрезвычайных ситуациях (сбой в работе двигателя, авария). В этом отношении заметными преимуществами обладают ТЭС кондиционирования воздуха. Их характеризуют надежность в эксплуатации, бесшумность, возможность быстрого перехода из режима охлаждения в режим нагрева и наоборот, значительный ресурс работы, малая инерционность, экологическая чистота. Наиболее рациональной областью применения ТЭС кондиционирования воздуха являются малогабаритные транспортные средства (в основном легковые автомобили), где величина холодопроизводительности ТЭБ не должна превышать 1кВт.

В лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств, функционирующей при ДГТУ, разработана ТЭС кондиционирования воздуха для легкового автотранспорта, в состав которой может войти теплообменный аппарат с тепловыми мостиками для выравнивания воздушных потоков. Она может использоваться в автомобилях, в серийную комплектацию которых не входит кондиционер, т. к. при монтаже не требует серьезного изменения системы воздуховодов и посадочных мест.

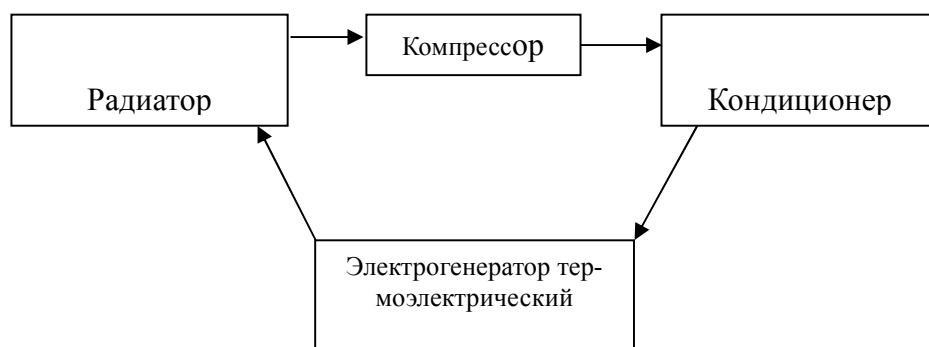


Рисунок 1. — Структурная схема термоэлектрической системы кондиционирования воздуха

Структурная схема встраиваемой системы кондиционирования приведена на рис.1. Она содержит радиатор, компрессор, кондиционер и электрогенератор. Дополнительный жидкостный радиатор устанавливается перед штатным радиатором автомобиля. Циркулирующий в системе жидкий теплоноситель

откачивается из радиатора с помощью компрессора и проходит через кондиционер, снимая избыточное тепло с горячих спаев его ТЭБ. Далее теплоотводящая жидкость омывает спаи термоэлектрического электрогенератора и поступает назад в радиатор.

Основным элементом системы кондиционирования является кондиционер. Его схема приведена на рис.2. Кондиционер состоит из теплообменника, представляющего собой наборную конструкцию из алюминиевых стержней 1, расположенных в шахматном порядке, на которые плотно надеты тонкие алюминиевые пластины 2 с небольшими зазорами между ними. Концы стержней 1 запрессованы в две контактные пластины 3, выполненные также из алюминия. С внешних сторон пластины 3 находятся в контакте с опорными спаями ТЭБ 4 кондиционера. Отвод теплоты с рабочих спаев ТЭБ осуществляется с помощью жидкостного теплоносителя, циркулирующего в теплоотводной системе трубок 5 и 7. Для соединения с другими элементами системы кондиционирования теплообменник снабжен штуцерами 6. Для исключения перетоков теплоты кондиционер теплоизолирован с верхней и нижней сторон.

Принцип работы системы кондиционирования заключается в следующем. Термоэлектрические модули 4 охлаждают контактные пластины 3 и соответственно алюминиевые штыри 1. Тонкие алюминиевые пластины 2 играют роль ребер радиатора, которые обдуваются штатным вентилятором печки обогрева салона автомобиля. Охлажденный воздух поступает в салон по штатным воздуховодам. Отвод тепла от горячих спаев термоэлектрических модулей осуществляется теплоотводящей жидкостью, омывающей жидкостные теплоотводы 5. Так как данная система кондиционирования потребляет значительное количество электроэнергии, для ее компенсации на коллектор автомобильного двигателя устанавливается дополнительный термоэлектрический электрогенератор 12. Теплоотводящая жидкость после кондиционера омывает опорные спаи термогенератора 12 для обеспечения необходимой разности температур, после чего поступает в дополнительный радиатор 9, установленный непосредственно перед штатным радиатором автомобиля. Принудительная циркуляция жидкости обеспечивается компрессором 10.

Целью исследований является разработка простого и надежного устройства для обеспечения комфортной температуры внутри салона легкового автомобиля, установка которого не требует изменения конструкций воздуховодов и дополнительных посадочных мест под узлы системы, а также обеспечивающего компенсацию затрат электроэнергии.

Достоинством предлагаемой системы является то, что для установки кондиционера не требуется специальная прокладка воздуховодов и организация установочного места для кондиционера в автомобиле, который в серийной комплектации не предусматривает установки кондиционера. Это достигается тем, что термоэлектрический кондиционер устанавливается вместо теплообменника штатной печки для обогрева салона автомобиля.

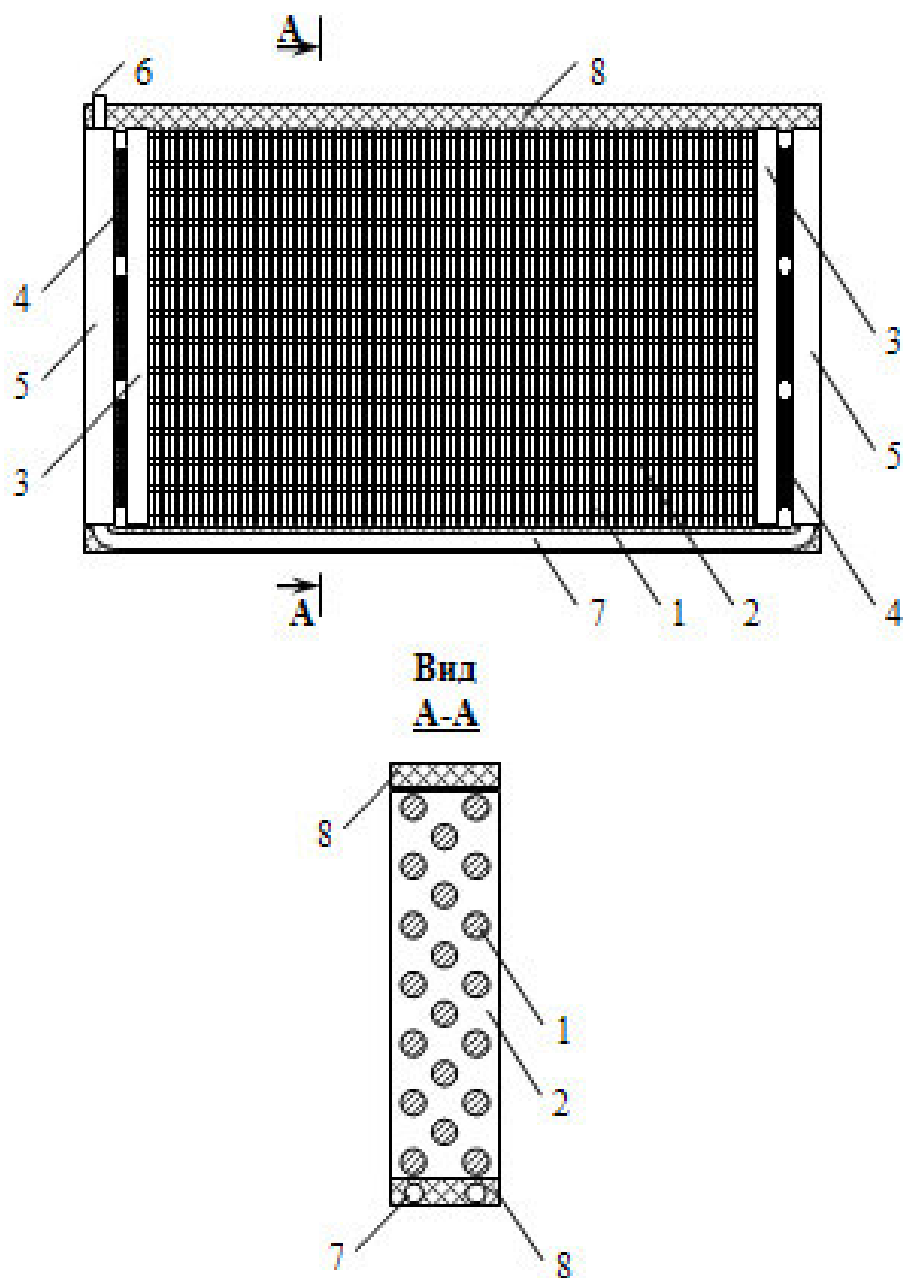


Рисунок 2. — Конструкция кондиционера

В рабочем режиме электрический ток, протекающий через ТЭБ 4, создаёт на ее спаях разность температур. Спаи с низкой температурой охлаждают контактные пластины 3 и соответственно алюминиевые стержни 1 стонками алюминиевыми пластинами 2, которые играют роль ребер радиатора. Для доставки охлажденного на нем воздуха в салон используются штатные воздуховоды и штатный вентилятор печи обогрева салона автомобиля, которые в летнее время не эксплуатируются. Так как данная система кондиционирования потребляет значительное количество электроэнергии, для компенсации энергопотерь используется дополнительный термоэлектрический электрогенератор, который устанавливается на коллектор автомобильного двигателя.

Согласно полученным данным в автомобильном салоне объемом примерно

4 м³ при использовании ТЭС кондиционирования воздуха температура с 303 К опускается до величины 293 К примерно за 24 минуты. При этом температура в теплообменнике стабилизируется примерно за 5 минут и составляет около 284 К. Система проста в изготовлении и обслуживании. Не требует дополнительных затрат в переоборудовании автомобиля и может быть использована практически на любой модели российского легкового автомобиля.

Литература

1. Патент RU 2360803. Система кондиционирования для автомобиля / Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Юсуфов Ш.А., Казумов Р.Ш.
2. Патент RU 2094712. Термоэлектрическое устройство для создания микроклимата в салоне автомобиля / Аленков В.В., Гриценко А.Б., Рудяга А.В., Сеебрянный Г.Л.
3. Лукишкер Э. М., Вайнер А.Л. Эффективность термоэлектрических интенсификаторов теплообмена. - Вопросы радиоэлектроники, сер. ТРТО, 1978, № 1, с. 86-90.

И.С. Саватеева, к.т.н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛИХТОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Шлихтовальные машины применяются на текстильных предприятиях для пропитки нитей специальным раствором – шлихтой. Шлихтование позволяет уменьшить истирание нитей на этапах последующей обработки и улучшить качество ткани. Упрощенная технологическая схема шлихтовальной машины приведена на рис.1. Нити с помощью тянущего вала 3 сматываются с нескольких сновальных валиков 1 и погружными роликами 4 доставляются в ванну 5 с шлихтой. После отжима валами 6 нити направляются в сушильную камеру 7, где просушиваются до требуемого уровня влажности сушильными барабанами 8. Далее нити транспортируются выпускным валом 9 и наматываются на ткацкий навой 10. Необходимая траектория движения нитей формируется направляющими роликами 2.

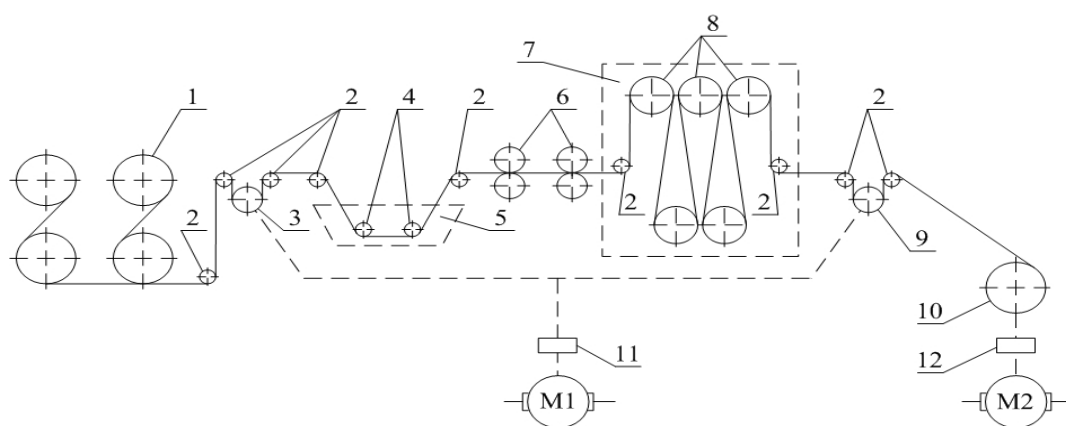


Рис.1

Тянущий вал, сушильные барабаны и выпускной вал, получают движение от общего распределительного вала, называемого мажорным, который приводится двигателем М1 через редуктор 11.

Натяжение на участке «выпускной вал – ткацкий навой» создается посредством электропривода ткацкого навоя, механическая часть которого

образована двигателем M2 и передающим устройством 12. Этот участок является выходным, поэтому точность стабилизации здесь натяжения в значительной мере определяет потребительские свойства продукции, а также качество формирования рулона ткацкого навоя, что имеет существенное значение для последующей технологической операции – ткачества.

Обеспечить заданный уровень натяжения позволяет изображенная на рис.2 бездатчиковая система стабилизации натяжения на базе двухдвигательного электропривода по схеме «источник тока – двигатели постоянного тока» с управлением по цепям возбуждения [1]. При этом двигатель M1 обеспечивает стабилизацию скорости намотки, а двигатель M2 - косвенное регулирование заданного уровня натяжения.

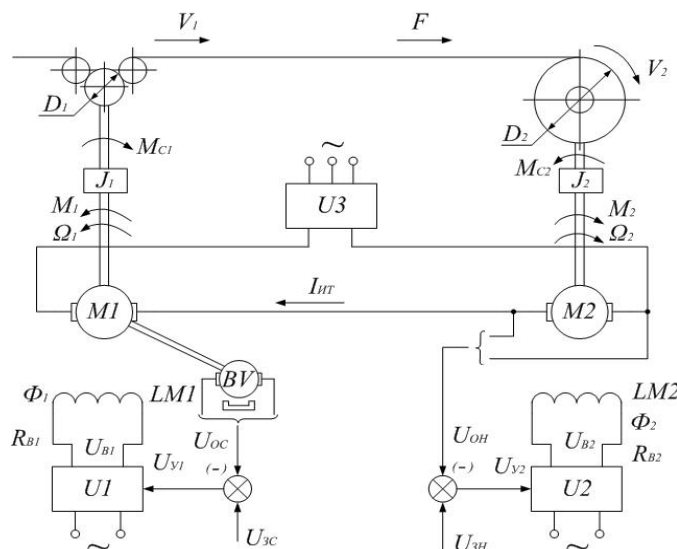


Рисунок 2

Анализ динамики электропривода проведен в среде MathLab Simulink, для чего на базе структурной схемы, представленной на рис. 3, была разработана модель системы.

Особенностью работы электропривода ткацкого навоя является существенное (в несколько раз) изменение момента инерции механизма в цикле перемотки. Это отражается и в характере изменения натяжения. Графики пуска при различных значениях момента инерции, представленные на рис. 4, показывают, что изменение натяжения нитей при большом моменте инерции имеет более благоприятный характер и уже в начале пуска оно практически выходит на заданный уровень.

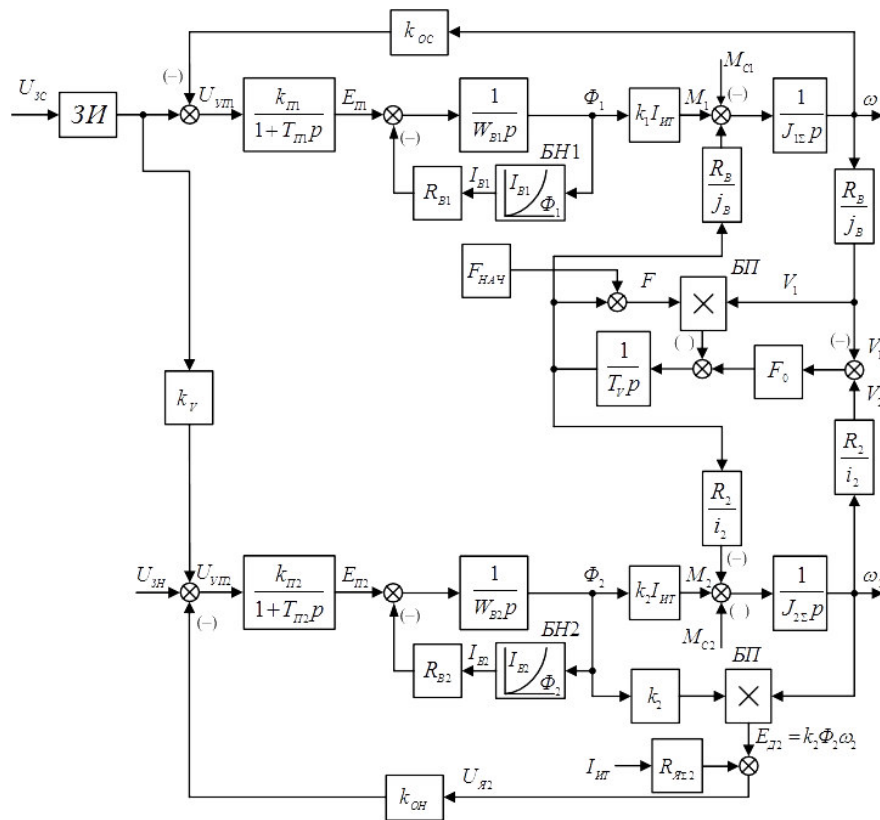


Рисунок 3

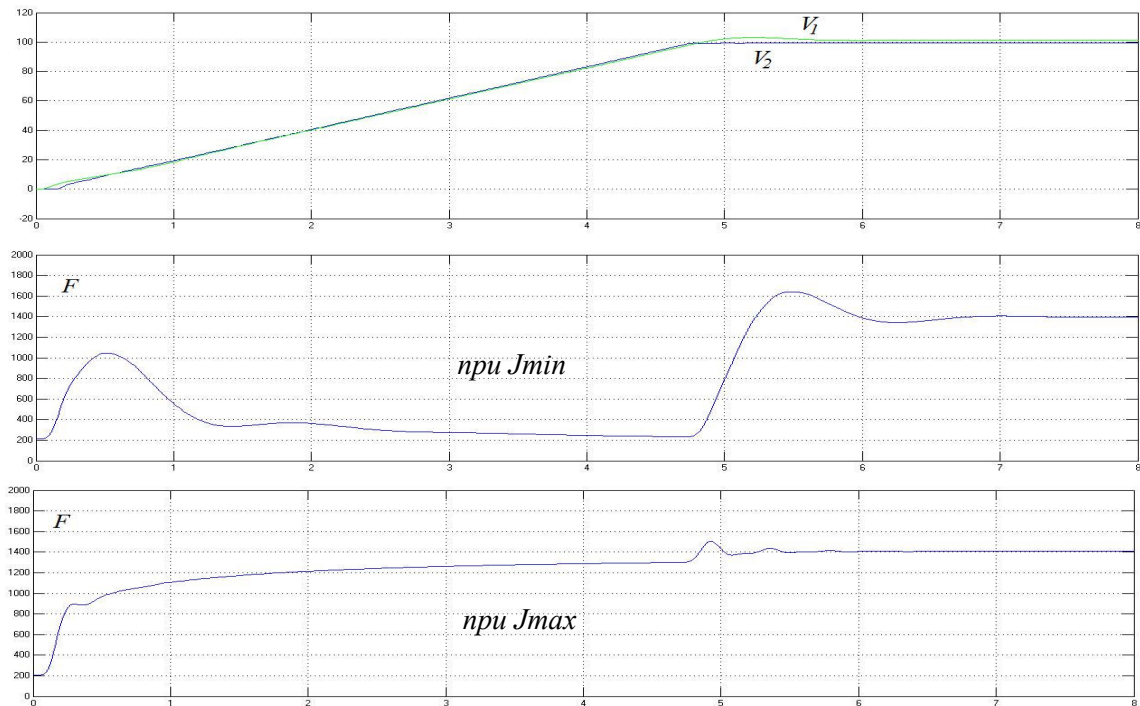


Рисунок 4.

Еще одним фактором, влияющим на качество стабилизации натяжения, является упругость мажорного вала. На рис.5 показана схема модели, в которой механическая часть электропривода мажорного вала представлена двухмассовой расчетной схемой.

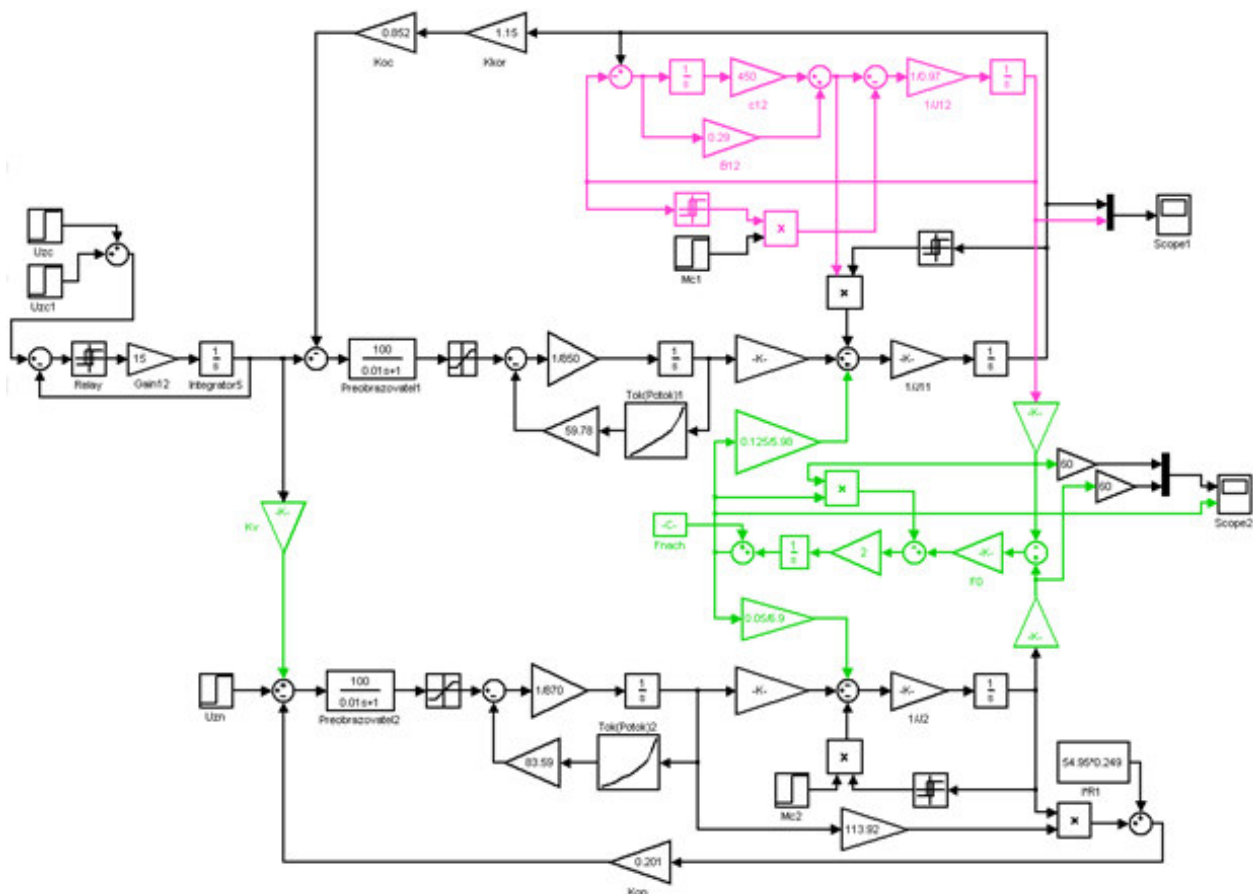


Рисунок 5 .

На рис. 6 показан графики изменения линейных скоростей электропривода мажорного вала и ткацкого навоя, а также натяжения нитей. Из графика видно, что после выхода линейной скорости привода мажорного вала на рабочее значение, она сохраняет колебательный характер, что негативно сказывается на качестве натяжения нитей.

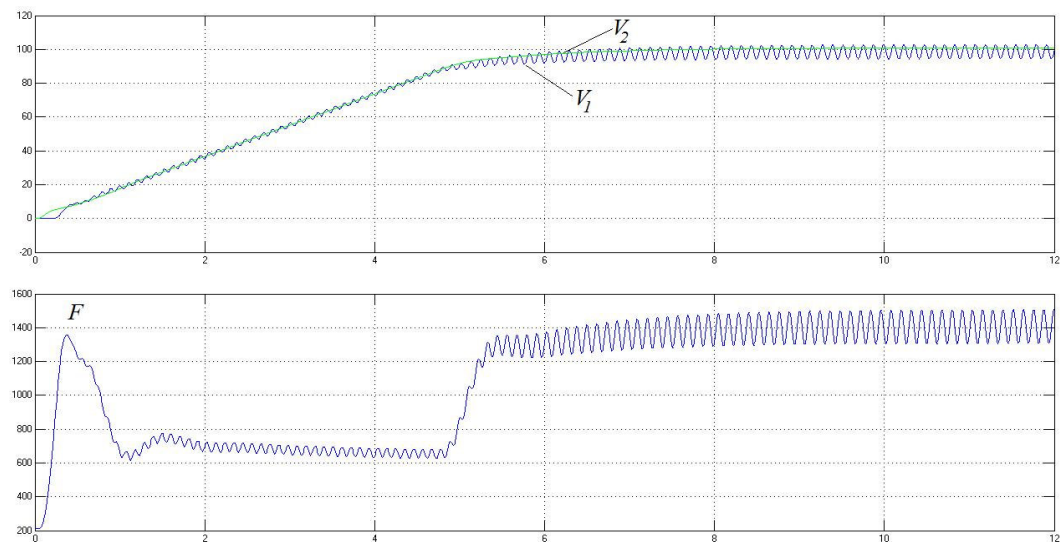


Рисунок 6

Таким образом, под влиянием упругости мажорного вала могут возникать автоколебания. Исследования показали, что для подавления упругих колебаний может быть использована последовательная (в виде двух дифференцирующих

звеньев) либо параллельная (гибкая обратная связь по напряжению якоря двигателя) коррекция системы. Однако в условиях возможного изменения параметров электропривода (момента инерции механизма, частоты упругих колебаний) параллельная коррекция обеспечивает более стабильную работу системы электропривода (рис. 7).

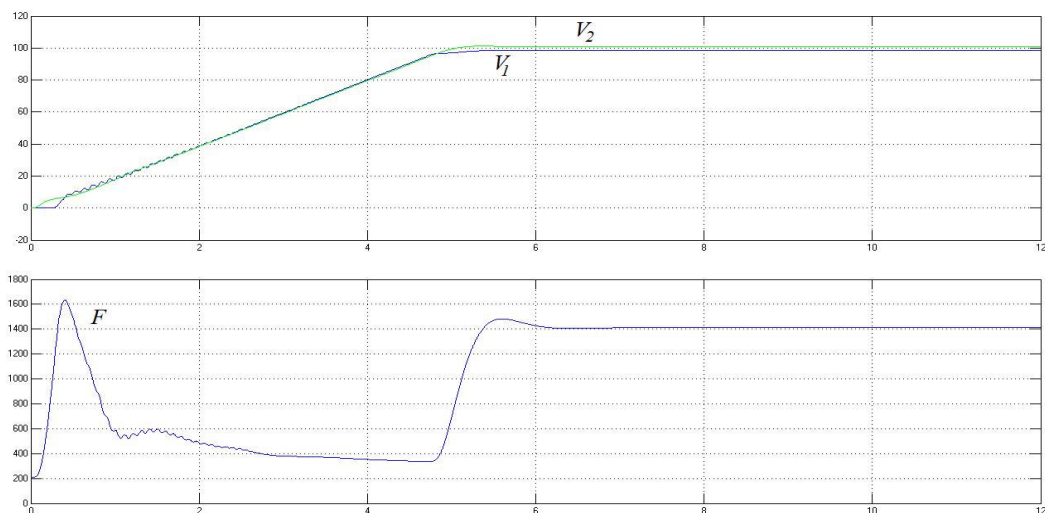


Рисунок 7

Литература

1. Многодвигательные электроприводы производственных механизмов с параметрическими источниками тока/ Петров В.П., Лабовский В.И., Саватеева И.С. М.: Моск. энерг. ин-т, 1989. – 80 с.

*В.А. Селиванов, к.т.н., доц.; А.П. Сериков, студ.
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилёв)*

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Показана возможность компенсации скрытых переменных свойств объекта путём применения предикатора, представляющего собой упредитель Смита для объекта с переменными свойствами. Исследования имитационной модели показали возможность значительного улучшения качества регулирования предлагаемым методом.

В технологических процессах часто встречается такой вид запаздывания, который называется транспортным. Наличие транспортного или, как его еще называют, «чистого» запаздывания в технологическом процессе приводит к тому, что сигнал на выходе объекта в течении некоторого времени после изменения входного сигнала остается неизменным, что негативно сказывается на качестве изготавливаемой продукции.

Улучшить показатели системы с транспортным запаздыванием можно с помощью применения упредителя Смита или обводного канала [1]. В [2] было показано, что применение упредителя Смита позволяет более качественно уменьшить транспортное запаздывание в системе.

Схема моделирования системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при номинальном напряжении, а также схема

моделирования системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при половинном напряжении представлены на рисунке 1.

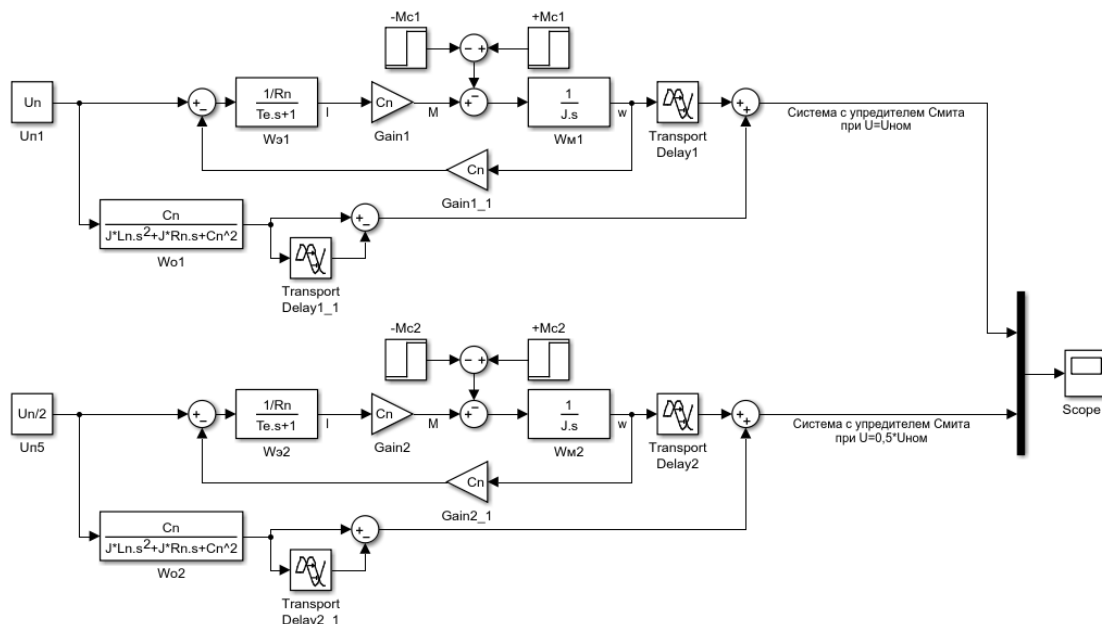


Рисунок 1. – Схемы моделирования системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при различных напряжениях

График скорости системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при номинальном напряжении, а также график скорости системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при половинном напряжении представлены на рисунке 2. Наброс нагрузки осуществляется через 0,3 с после запуска систем, сброс – через 0,5 с.

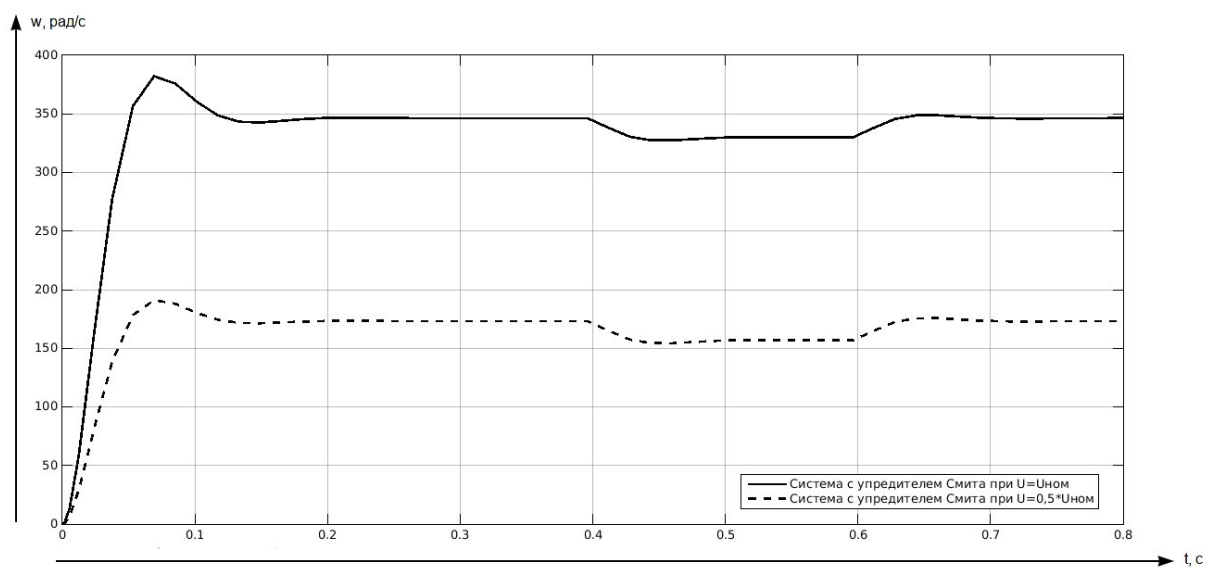


Рисунок 2. – Графики скорости системы при пуске на холостом ходу и последующем набросе/сбросе нагрузки при различных напряжениях

Схема моделирования системы при пуске под нагрузкой и последующем её сбросе при номинальном напряжении, а также схема моделирования системы

при пуске под нагрузкой и последующем её сбросе при половинном напряжении представлены на рисунке 3.

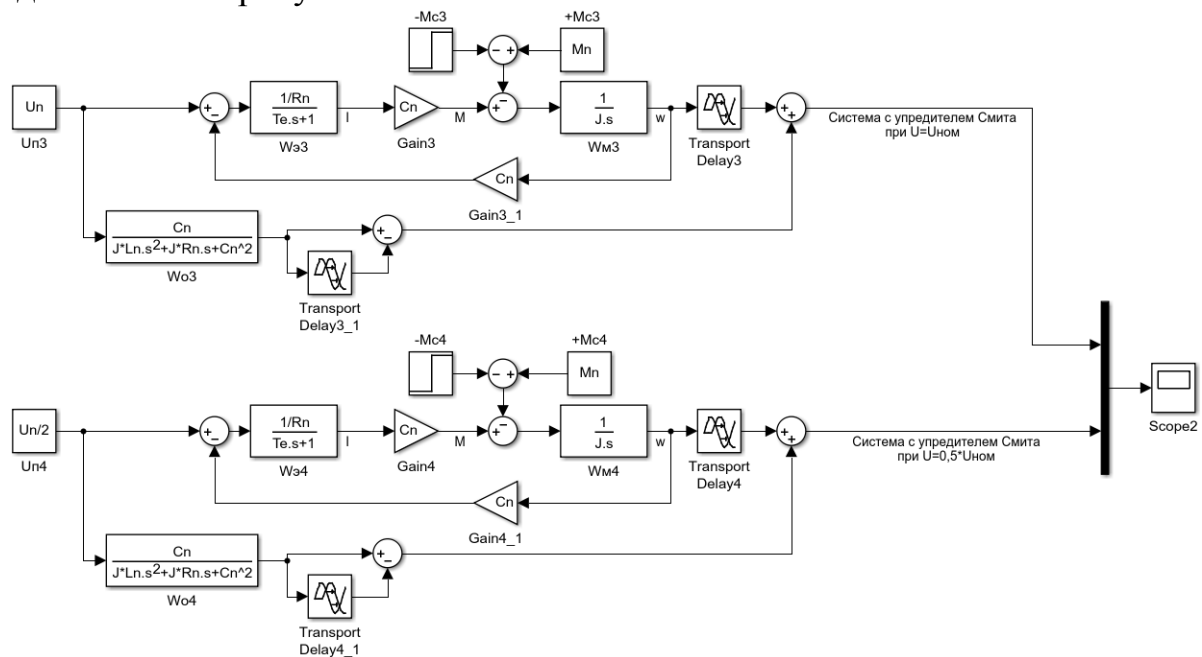


Рисунок 3. – Схемы моделирования системы при пуске под нагрузкой и её последующем сбросе при различных напряжениях

График скорости системы при пуске под нагрузкой и последующем её сбросе при номинальном напряжении, а также график скорости системы при пуске под нагрузкой и последующем её сбросе при половинном напряжении представлены на рисунке 4. Сброс нагрузки осуществляется через 0,5 с после запуска системы.

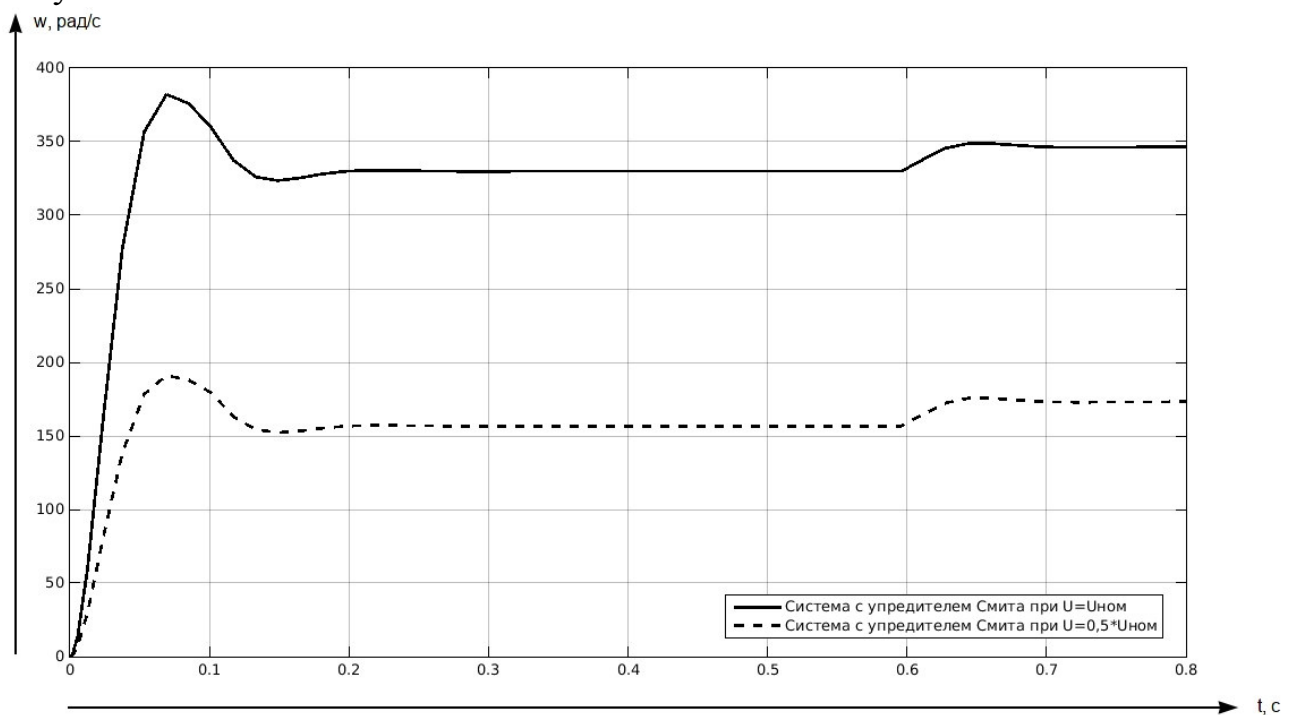


Рисунок 4 – Графики скорости системы при пуске под нагрузкой и последующем её сбросе при различных напряжениях

Следовательно, анализ результатов моделирования системы с упредителем Смита (рисунок 2 и рисунок 4) позволяет сделать вывод о том, что при пуске

запаздывание практически сводится к нулю. После окончания пуска при набросе/сбросе нагрузки использование упредителя Смита не оказывает существенного влияния на уменьшение транспортного запаздывания в системе.

Литература

1. Ишимцев, Р.Ю. Обводной канал для САУ скалярных и многоканальных объектов: сравнение с упредителем Смита / Р.Ю. Ишимцев, А.А. Воевода, В.А. Жмудь. // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – №2(52). – С. 11–22.
2. Сериков, А.П. Сравнительная оценка упредителя Смита и обводного канала в системах с транспортным запаздыванием / А.П. Сериков, В.А. Селиванов. // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сб. тр. XIII-ой межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Смоленск: МЭИ (ф) ФГБОУ ВО «НИУ», 2016. – Т. 1, – С. 169-172.

*А.А.Сергеева студент; Т.С. Любова, к.ф.-м.н., доцент;
С.К. Любов, к.ф.-м.н., доцент;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА СЕРИИ ST

Совершенствование парогенераторов промышленной теплоэнергетики и источников теплоснабжения представляется существенным резервом экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Особое место среди современного теплоэнергетического оборудования занимают парогенераторы серии ST, так как в отличие от традиционных котлоагрегатов в данных парогенераторах отсутствуют потери с уходящими газами и, следовательно, они имеют более высокий коэффициент полезного действия [1]. Кроме того, рациональная организация потоков воздуха и воды позволяют использовать тонкостенные конструкции из дешевых материалов, чем обусловлена невысокая стоимость и малая масса аппаратов. Особенностью данных парогенераторов являются и менее жесткие требования, предъявляемые к качеству воды.

Теплогидравлическая схема парогенератора серии ST представлена на рисунке 1.

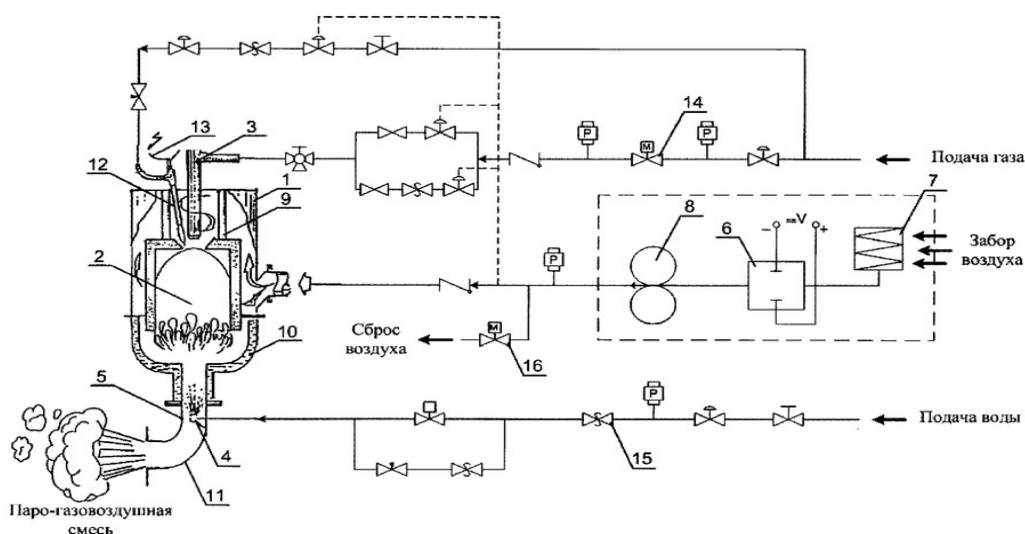


Рисунок 1. Теплогидравлическая схема парогенератора серии ST:

1- корпус камеры сгорания;2- камера сгорания;3- газовая пушка;4- распылительная насадка для воды;5,11- патрубок, в котором происходит образование паро- газовоздушной смеси;6- блок управления;7- блок управления;8-компрессор;9-кольцевой зазор между корпусом и футеровкой;10- рубашка охлаждения(охладитель-вода или воздух) ;12- подача воздуха в камеру сгорания;13- свеча зажигания;14- клапан с эл.приводом;15-соленоидный клапан;

В состав парогенераторной установки входит: жаропрочная камера сгорания, компрессор, системы подачи воды и топлива. В процессе работы парогенератора компрессор нагнетает воздух в камеру сгорания. Подача организована так, что сначала воздух проходит через кольцевой зазор между корпусом и футеровкой, где происходит его подогрев, и только после этого подается непосредственно в камеру сгорания, где происходит смешение его с топливом. Тепловая схема парогенератора серии ST представлена на рисунке 2.

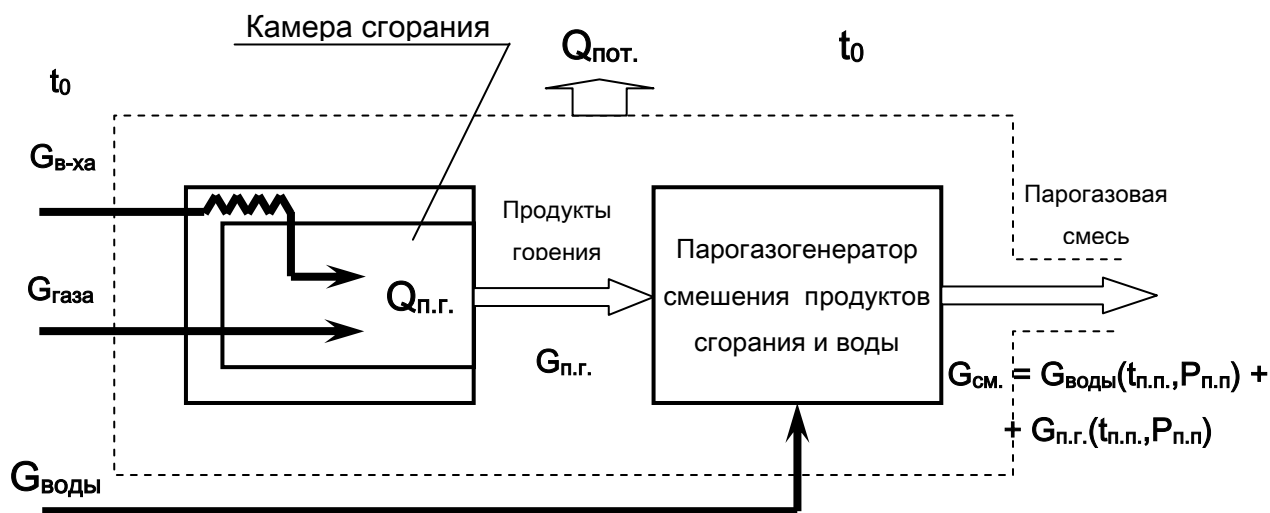


Рисунок 2– Тепловая схема парогенератора серии ST

Ввиду такой подачи воздуха происходит охлаждение корпуса камеры сгорания, что позволяет удовлетворить техникам безопасности и дает возможность использовать более дешевые конструкционные материалы. Помимо этого подача подогретого воздуха в камеру сгорания обеспечивает более эффективное смешение окислителя с топливом, что увеличивает температуру горения, количество выделяющейся теплоты, уменьшает потери с химическим недожогом и существенно понижает токсичность продуктов горения топлива. Пределы по исходящим газам: CO - 10 ppm(0,001%), NO - 60 ppm(0,006%)

В парогенераторе серии ST пар образуется путем мгновенного испарения воды за счет того, что воду подают непосредственно в объем высокотемпературных продуктов горения.

В предлагаемой парогазогенераторной технологии температура пара не зависит от его давления, ее регулирование происходит за счет изменения количества воды, подаваемой в среду горячих газов.

Давление технологического пара на выходе парогенератора не превышает 0,05 МПа, а диапазон рабочих температур технологического пара 100-200°C. Технология обеспечивает мгновенную подачу пара (выход на рабочий режим через 15 секунд после включения установки), следовательно, нет необходимости поддерживать холостой режим работы установки.

При изучении конструкции и работы парогазогенератора серии ST была рассчитана температура подогрева воздуха $t_{г.в.} = 104,93^{\circ}\text{C}$ и температура стенки камеры сгорания перед слоем футеровки $t_{ст1} = 157^{\circ}\text{C}$, по тепловой схеме парогенератора, представленной на рисунке 2, был составлен его тепловой баланс, из которого в дальнейшем был выражен расход парогазовой смеси, рассчитаны относительные расходные и тепловые характеристики для двух режимов работы парогенератора.

Из полученных данных были построены графические зависимости расхода парогазовой смеси от температуры и коэффициента избытка воздуха для двух мощностных режимов работы парогенератора, представленные на рисунках 3-6.

«Низкий» режим- режим работы парогенератора с тепловой мощностью
 $N_t = 706 \text{ кВт}$

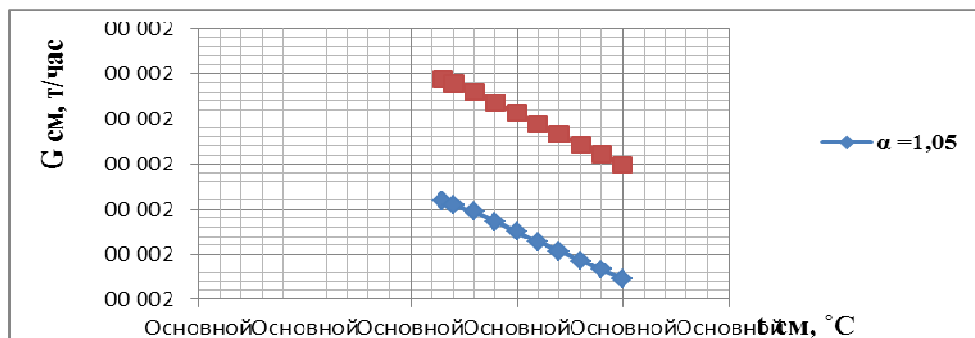


Рисунок 3– Зависимость расхода парогазовой смеси от температуры и коэффициента избытка воздуха

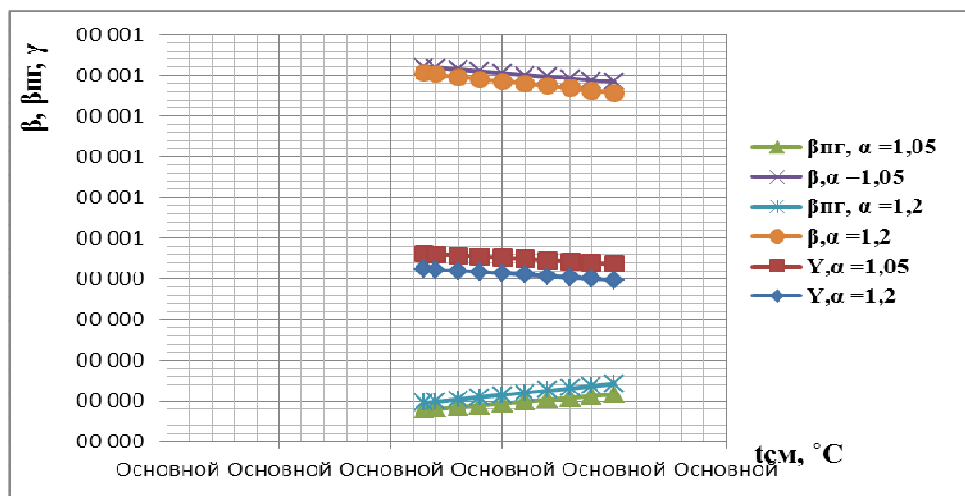


Рисунок 4– Относительные расходные и тепловые характеристики парогенератора ST-502H

«Высокий» режим- режим работы парогенератора с тепловой мощностью $N_t = 1412 \text{ кВт}$

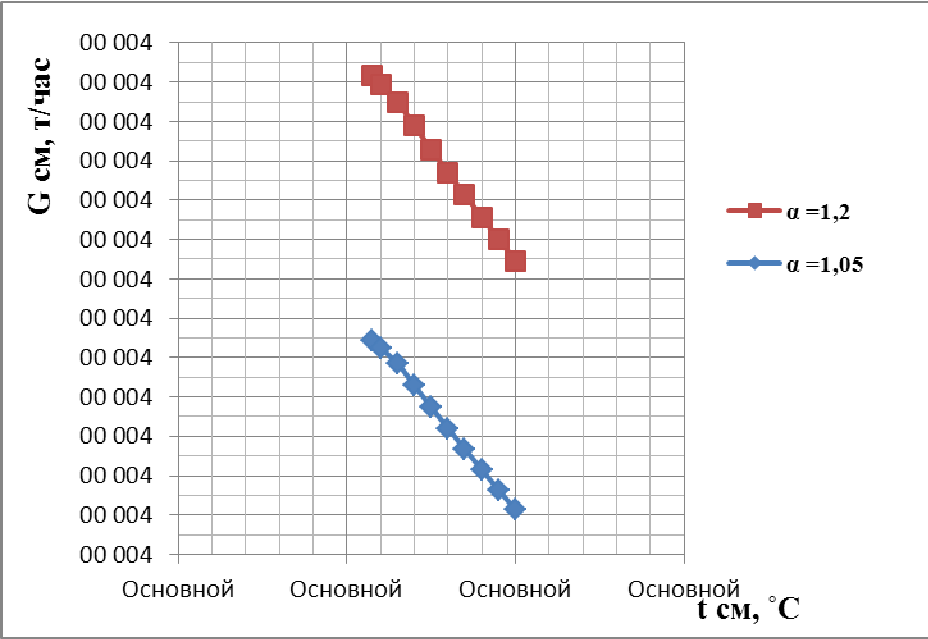


Рисунок 5– Зависимость расхода парогазовой смеси от температуры и коэффициента избытка воздуха

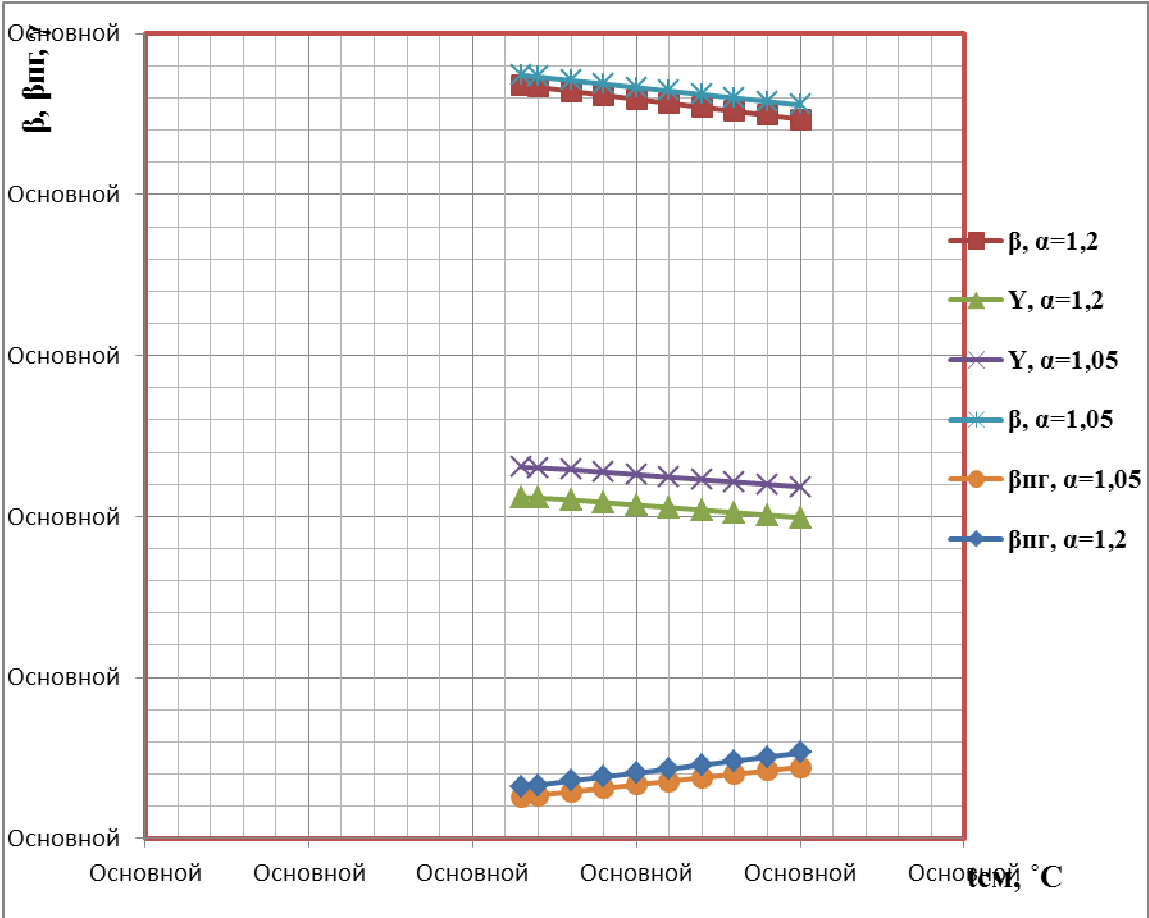


Рисунок 6– Относительные расходные и тепловые характеристики парогенератора ST-502H

Из представленных результатов были сделаны следующие выводы:

При фиксированных значениях расходов воздуха и газа регулировка температуры парогазовой смеси обеспечивается изменением количества воды, подводимой к установке, при этом, увеличение температуры от 115 до 200°C требует относительно небольшого увеличения (~10%) расхода воды. Т.е. регулировочная характеристика парогазогенератора $G_{см}(t)$ в каждом из рабочих режимов, (рисунок 3 и 5,) представляет собой близкую к прямолинейной, слабо убывающую зависимость. Уменьшение коэффициента избытка воздуха α приводит к соответствующему уменьшению $G_{см}$ (рисунок 3 и 5).

Относительная массовая доля расхода пара в парогазовой смеси γ (рисунок 4 и 6) не зависит от режима работы, является слабо убывающей функцией температуры смеси и при

$\alpha = 1,05 \div 1,2$ изменяется в пределах от 0,39 до 0,46. При этом основную ($\beta > 90\%$) долю тепловой мощности струи несет именно паровая часть парогазовой смеси.

Чем выше температура смеси, тем β ниже, и, соответственно, выше доля тепловой мощности переносимой газовой частью смеси ($\beta_{рг}$ увеличивается с ростом $t_{см}$ (рисунок 4 и 6). Величина β (или $\beta_{рг}$) очень слабо зависит от коэффициента избытка воздуха α (рисунок 4 и 6).

Литература

1. Всероссийский отраслевой журнал «Строительная орбита»| www.stroyorbита.ru| №3(101)|март 2012 г. –М.:ООО «Издательский дом» Строительная Орбита»
2. Сидельковский Л. Н., Юренев В. Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. –4-е изд., репринтное. –М.: ООО«БАСТЕТ»,2009. –528с.:ил.
3. Справочное пособие. Паровые и водогрейные котлы. –СПб.: Издательство «Деан», 2000. –192 с.
4. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных - 2-е изд., перераб. и д оп. -М.:Энергоатомиздат, 1984, 80 с. с ил.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов.–5-е изд., стереотипное.–ООО «ТИД«Арис», 2014.–416 с.,ил.

*А.Е. Малиновский, д.т.н.,проф.; И.А. Сидорцов, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

С каждым годом вентильно-индукторные двигатели находят все более широкое применение. Основными достоинствами ВИД перед другими двигателями являются:

- простота и технологичность конструкции ИМ;
- низкая себестоимость;
- высокая надежность;
- высокая ремонтпригодность;

–низкие потери в роторе.

Существует два основных направления улучшения энергетических показателей вентильно-индукторных двигателей:

–повышение энергетических показателей посредством усовершенствования конструкции двигателя;

–повышение энергетических показателей посредством усовершенствования метода коммутации обмоток.

Данная работа предусматривает повышение энергетических показателей усовершенствованием метода коммутации ВИД.

Известно, что для высоких энергетических показателей ВИД, магнитная система двигателя должна находиться в насыщении, что увеличивает коэффициент коэнергии [5, с.62].

Для регулировки механического момента при классическом методе коммутации обмоток изменяют амплитуду тока, подаваемого в фазу обмотки двигателя (Рисунок 1). Таким образом, при высоком выходном моменте подается ток, которого достаточно для насыщения магнитной системы двигателя. Когда требуется не высокий выходной момент, по фазе обмотки протекает малый ток, которого недостаточно для насыщения магнитной системы двигателя. В этом случае возникают потери, связанные с недонасыщением магнитной системы, понижение коэффициента коэнергии и уменьшаются энергетические показатели ВИД.

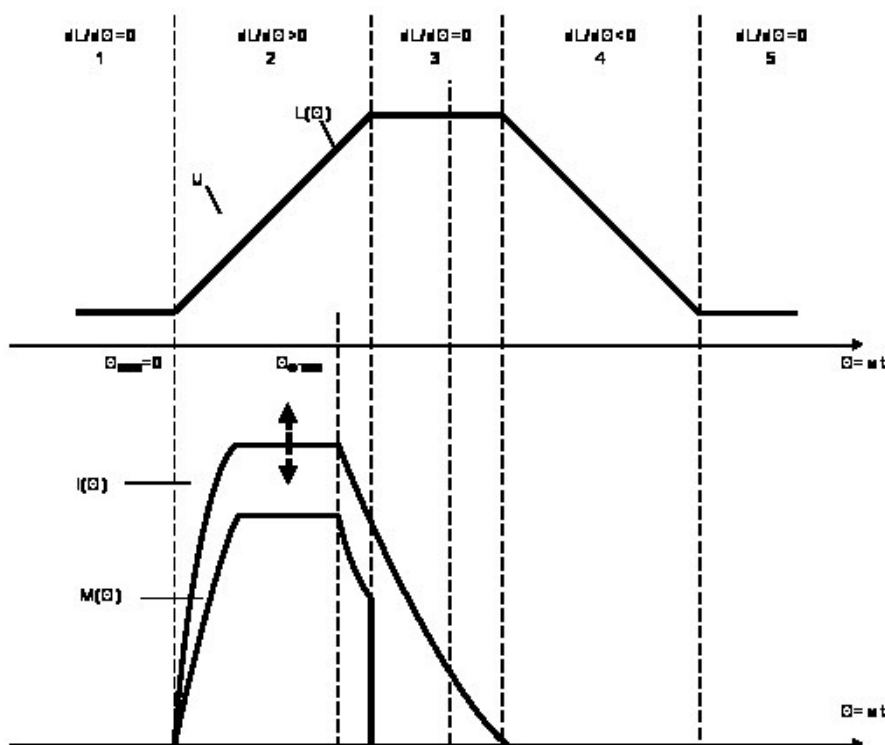


Рисунок 1. — Регулирование выходного момента ВИД при классической коммутации.

Вторым недостатком классического метода коммутации обосновано считается момент отключения фазы обмоток двигателя. Известно, что положительный механический момент ВИД будет возникать только в том случае,

когда $\frac{dL}{d\theta} > 0$ (Частичное перекрытие зубцов статора и ротора). Поэтому фазные обмотки двигателя включаются в тот момент, когда индуктивность фазы обмотки двигателя начинает увеличиваться (Рисунок 1, участок 2). А отключение обмотки при классическом методе происходит тогда, когда индуктивность фазы перестает изменяться (Рисунок 1, участок 3), это происходит при согласованном положении зубцов статора и ротора. При этом энергия, запасенная в фазе обмотки двигателя, которая остается на участке $\frac{dL}{d\theta} = 0$ рассеивается в тепло на омическом сопротивлении обмоток, что значительно снижает энергетические показатели ВИД.

В [3] рассматривается такой метод коммутации и коммутатор ВИД, при котором, запасенная в двигателе энергия, выводится во внешний конденсатор, и используется на следующем цикле коммутации. Этот метод не позволяет полностью сохранить запасенную в двигателе энергию, так как происходит многошаговое преобразование энергии.

Встает задача решить два основных недостатка классического метода коммутации фазных обмоток ВИД:

- обеспечить регулирование момента таким образом, чтобы магнитная система ВИД находилась в насыщении;
- задать такое время отключения фазы от источника тока, чтобы вся энергия, запасенная в магнитной системе ВИД, была преобразована в момент.

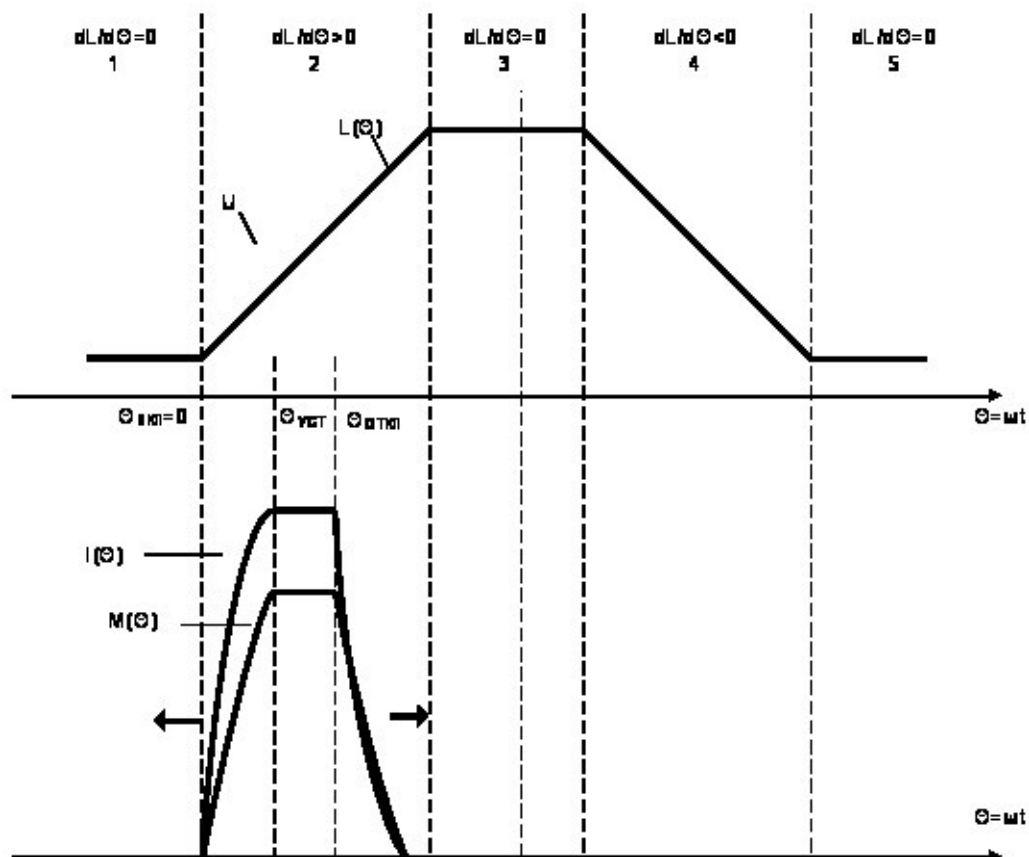


Рисунок 2. — Регулирование выходного момента ВИД при разработанном методе коммутации

Для решения первой задачи предлагается регулирование момента осуществлять не амплитудой тока, как в классическом методе, а шириной импульса тока, подаваемого от источника в фазу обмотки двигателя. Амплитуда тока при этом должна быть такой, чтобы магнитная система двигателя находилась в насыщении (Рисунок 2).

Отключение фазы ВИД нужно осуществлять таким образом, чтобы ток успевал спадать до участка взаимного перекрытия зубцов статора и ротора $\frac{dL}{d\theta} = 0$. Тогда вся энергия, запасенная в магнитном поле ВИД, будет направлена на создание механического момента, что увеличит энергетические показатели двигателя (Рисунок 2).

Для количественной оценки энергии, сохраненной при разработанном методе коммутации, рассмотрим уравнение запасенной магнитной энергии в ВИД.

$$\Delta W_m = \int_0^{\psi+\Delta\psi} id\psi(\theta_0+\theta_{уст}, i) - \int_0^{\psi} id\psi(\theta_0, i) + \int_{\psi+\Delta\psi}^0 id\psi(\theta_{откл}+\theta_0, i)$$

Первая часть уравнения представляет собой магнитную энергию системы, в которой якорь находится в положении $\theta = \theta_0 + \theta_{уст}$ (Рисунок 2), интегрирование проводится по переменной ψ от 0 до $\psi + \Delta\psi$ при $\theta_0 + \theta_{уст}$.

Второй член – представляет магнитную энергию системы, когда якорь зафиксирован в положении $\theta = \theta_0$. Интегрирование проводится по переменной ψ от 0 до ψ при $\theta = \theta_0$.

Третий член представляет собой магнитную энергию системы, в которой якорь находится в положении $\theta = \theta_{откл} + \theta_0$, интегрирование проводится по переменной ψ от $\psi + \Delta\psi$ до 0 при $\theta_{откл} + \theta_0$.

Хорошо видно, что третий член данного уравнения аналитически определяет ту самую часть энергии, которую удастся сохранить при данном методе коммутации. Количество этой энергии полностью зависит от характеристик применяемого ВИД.

Этот краткий анализ дает математическое обоснование целесообразности применения данного метода для повышения энергетических показателей ВИД.

Реализация схемы коммутатора.

За основу, для дальнейшей работы, примем следующий вентильно-индукторный двигатель:

число фаз статора $m = 8$;

число зубцов статора $Z_{ст} = 8$;

число зубцов ротора $Z_p = 6$.

Зубцовое деление статора: $\tau_{ст} = \frac{2\pi}{Z_{ст}} = 45^\circ$;

Зубцовое деление ротора: $\tau_p = \frac{2\pi}{Z_p} = 60^\circ$

Для упрощения примем коммутацию только первых двух фаз (Рисунок 3),

остальные фазы будут коммутироваться таким же образом, с заданным угловым сдвигом. Коммутация фаз будет осуществляться попарно.

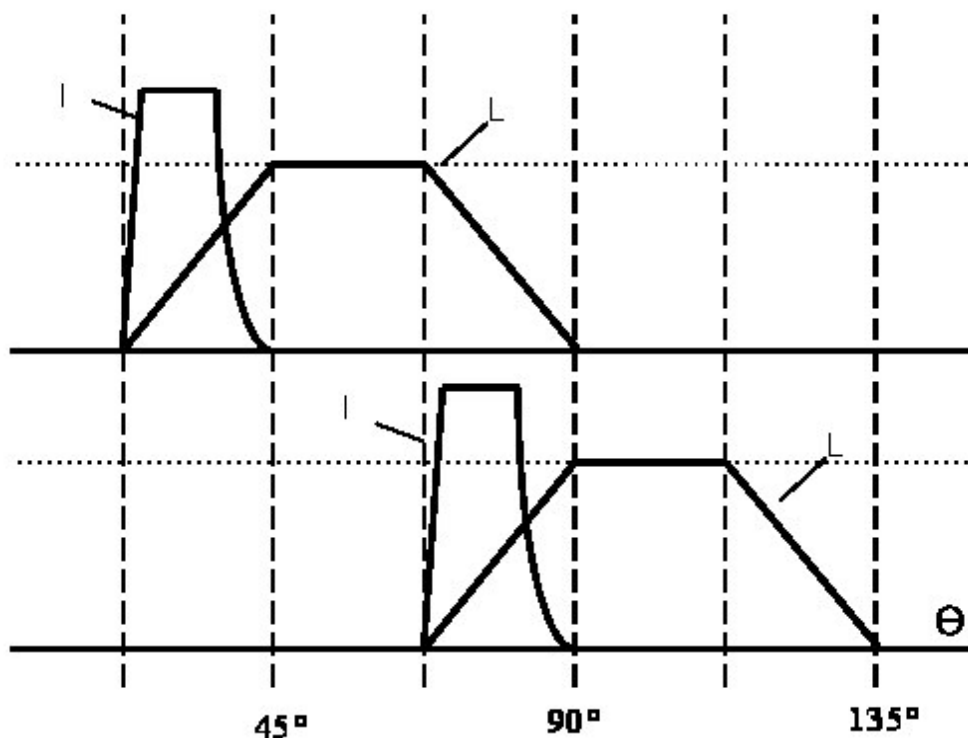


Рисунок 3. — Упрощенная коммутация фаз ВИД

Как видно из рисунка для коммутации фаз ВИД, необходимо знать:

- Угловое положение ротора;
- Частоту вращения ротора;
- Угловое положение начала коммутаций;
- Ширину импульса тока при заданной частоте вращения.

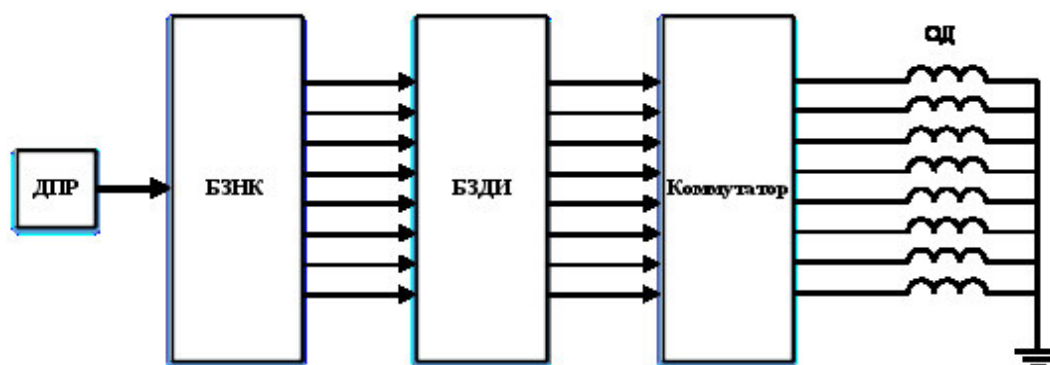


Рисунок 4. — Функциональная схема коммутатора ВИД

Функциональная схема коммутатора (рис. 4) включает в себя:

- ДПР – датчик положения ротора;
- БЗНК – блок задания начала коммутаций;
- БЗДИ – блок задания длительности импульса;

Коммутатор;

ОД – обмотки двигателя.

Реализуем принципиальную схему на основе функциональной схемы (рис. 5).

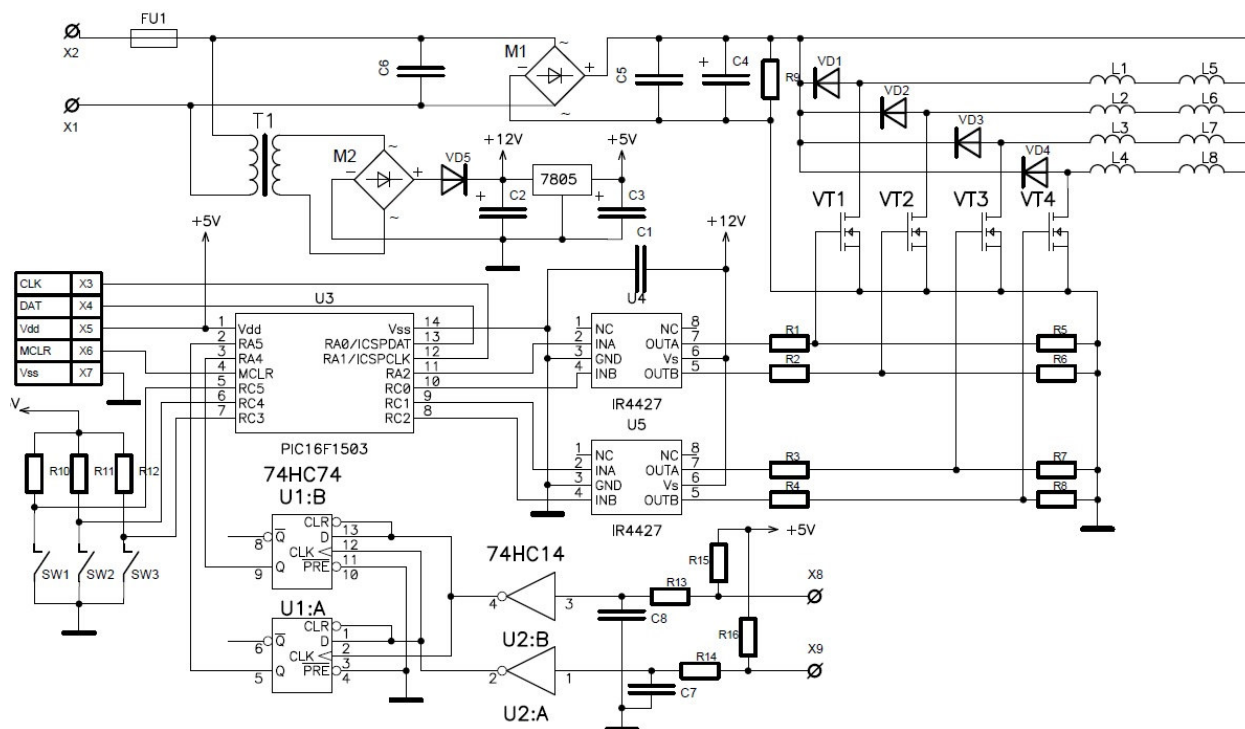


Рисунок 5. — Принципиальная схема коммутатора

В качестве датчика положения ротора будет использоваться энкодер, так же с помощью энкодера можно определять и частоту вращения ротора. Функции БЗНК и БЗДИ будет осуществлять микроконтроллер с помощью обработки двух массивов, первый из которых отвечает за задание начала коммутаций, а второй за длительность импульсов. Для изменения выходного момента с помощью тактовых кнопок осуществляется перемещение в памяти микроконтроллера элементов второго массива.

В качестве коммутатора применяются полевые mosfeet транзисторы, которые смогут обеспечить заданный ток. Для включения-отключения транзисторов применяется специализированный драйвер.

Основным результатом данной научно-исследовательской работы является повышение энергетических результатов ВИД. Повышение показателей теоретически доказано и обосновано.

Повышение показателей, главным образом, было реализовано с помощью улучшенного метода коммутации.

Разработана принципиальная схема для реализации данного метода.

Недостатком данного метода является высокая пульсация выходного момента, что ограничивает его применение в системах, к которым не предъявляются жесткие требования к постоянству момента.

Дальнейшим развитием работы является полная реализация схемы, написание программы и практическая проверка метода на испытуемом двигателе.

Литература

1. Кузнецов В. А., Кузьмичев В. А. Вентильно-индукторные двигатели. – М.: МЭИ, 2003.
2. Krishnan R. Switched reluctance motor drives – CRC Press, 2008.
3. Остриров В.Н., Уткин С.Ю. Силовой преобразователь для вентильно-индукторного привода массового применения – Вестник МЭИ, 2001, №2.
4. Иванов-Смоленский А. В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах: Учеб. Пособие для вузов по спец. “Электромеханика”. – М.: Высш. шк., 1989. – 312 с.: ил.
5. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.: ил.

*Е.М. Соколова, к.т.н., доц.; П.В. Измайлов, асп.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ЭЛЕКТРОМАГНИТ (ЭМ) ПОДВЕСА В СОСТАВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА (ВСНТ)

В работе рассматривается система электромагнитного подвеса (ЭМП), используемая на современном транспорте. Приведены параметры, характеризующие электромагниты подвеса и направления.

Высокоскоростной наземный транспорт (ВСНТ) в современном понятии — это железнодорожный транспорт, обеспечивающий движение поездов со скоростью более 200 км/ч. Движение ВСНТ осуществляется либо колесным подвижным составом по рельсовому пути, либо бесконтактным способом, когда для тяги и торможения применяется линейный электрический привод, а для создания условий движения — магнитный подвес.

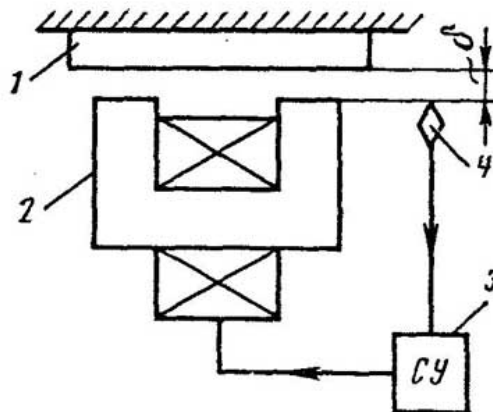


Рисунок 1. — Принципиальная схема ЭМП

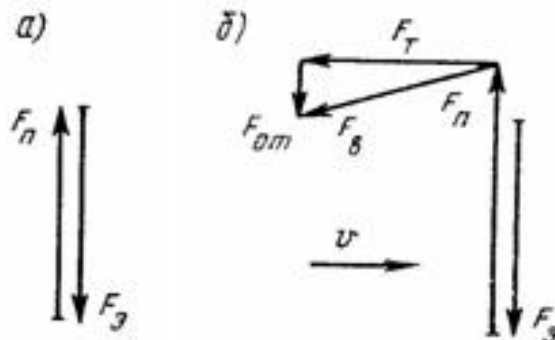


Рисунок 2. — Диаграмма взаимодействия сил
а — при неподвижном экипаже, б — при движении экипажа

Левитация и направление экипажа (рис.1) относительно неподвижной ферромагнитной путевой направляющей 1, или феррорельса (ФР), здесь осуществляется с помощью сил притяжения его электромагнитов (ЭМ) 2, обмотки возбуждения которых питаются током от быстродействующей системы управления (СУ) 3 по сигналам датчиков 4, контролирующих зазор δ между ЭМ и ФР, равный примерно 15 мм.

Система ЭМП основана на эффекте магнитного притяжения ЭМ к ФР. Сила притяжения к ФР, называемая подъемной $F_{\text{п}}$, должна уравнивать все нагрузки $F_{\text{э}}$, действующие на экипаж, в том числе и силу веса экипажа (рис.2а).

При движении ЭМ вдоль ФР в них наводятся вихревые токи, создающие магнитный поток, размагничивающий основной поток. Возникающая при этом сила $F_{\text{в}}$ может быть разложена на тормозную силу F_m , направленную против движения экипажа, и отталкивающую силу F_{om} , направленную против силы $F_{\text{п}}$ (рис.2б). Компенсация F_{om} осуществляется автоматической СУ МП путем увеличения тока в обмотке ЭМ, а силы F_m – увеличением тягового усилия линейного двигателя.

Известны несколько вариантов конструктивных схем экипажа, одной из которых является совместная система подвеса и направления.

ЭМ подвеса и ЭМ направления для экипажей ВСНТ в общем случае характеризуются следующими параметрами: подъемным усилием $F_{\text{п}}$, массой ЭМ M_m , мощностью P_m обмотки ЭМ и системой охлаждения.

Исходными данными для выбора параметров ЭМП являются внешние нагрузки, на которые должны быть рассчитаны ЭМ подвешивания и направления, режимы и условия работы, характеристики активных материалов и уровень технологического обеспечения при изготовлении.

ЭМ подвеса должны быть рассчитаны на подъемное усилие:

- 1.35gm – в длительном режиме при номинальном зазоре;
- (1.8 – 2.0)gm – в кратковременном режиме при номинальном зазоре;
- 1.0gm – в кратковременном режиме при двойном зазоре.

Для ЭМ направления для тягового усилия предлагается:

- 0.25gm – длительный режим при номинальном зазоре;
- 0.5gm – кратковременный режим при номинальном зазоре.

Как известно, при перемещении ЭМ вдоль ФР в последнем возникают вихревые токи, размагничивающие и искажающие основное магнитное поле, создаваемое ЭМ. Это происходит только на его концах. Следовательно, чем длиннее ЭМ, тем меньше эффект искажения поля и связанных с ним вредных явлений. Конструктивно и технологически сложно выполнить ЭМ такой длины, поэтому принимается, что ЭМ должен быть составлен из нескольких модулей длиной 1 м каждый.

Т.к. потери на вихревые токи пропорциональны удельному сопротивлению материала, то для ФР применяют специальные стали с повышенным уд. сопротивлением для уменьшения потерь. Также для уменьшения потерь ФР шихтуют в поперечном или продольном направлении. Отсюда следует, что в случае применения совмещенной системы тяги и подвеса влияние вихревых

токов практически отсутствует, т.к. в качестве ФР используется шихтованный статор ЛСД.

Параметром, определяющим систему ЭМП, является величина воздушного зазора δ между ЭМ и ФР. От этого параметра в значительной мере зависит энергопотребление подвеса и его общая масса. Поэтому естественно принять δ минимальным. Но при малом δ повышаются требования к точности изготовления путевой структуры. Поэтому величину зазора следует выбирать оптимизационным расчетом (предварительно принимают $\delta=0.015$ м, затем ее уточняют по результатам опыта).

На начальном этапе проектирования ЭМ подвеса необходимо понять, какова будет форма ЭМ и какие данные должны быть заложены в его основу.

Из большого многообразия возможных конструктивных форм магнитопровода ЭМ наиболее приемлемой является П-образная форма сечения (рис.3); материал: магнитопровод – сталь 3413, ФР – сталь 3, обмотка – медная.

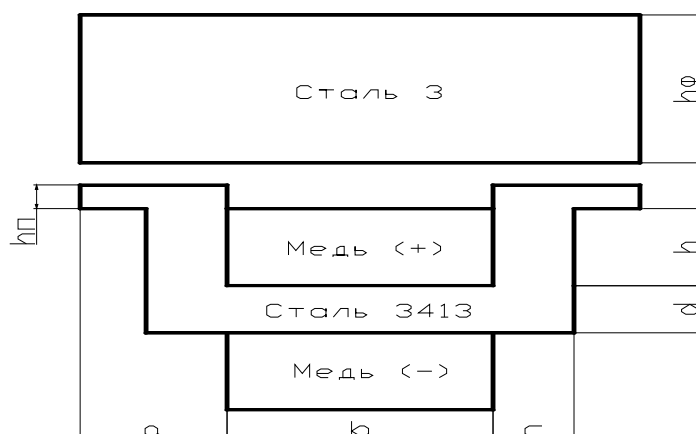


Рисунок 3. —Форма сечения ЭМ подвеса

Все остальные необходимые данные были взяты из технической документации опытного образца TR-06 (Transrapid, Германия).

Проведя аналитический расчет в программе MathCAD, были получены следующие параметры:

$a = 58$ мм

$b = 105$ мм

$c = d = 32$ мм

$h = 52$ мм

$h_{\text{п}} = 16$ мм

$h_{\text{ф}} = 100$ мм (произвольно)

$\delta = 15$ мм

Длина ЭМ: $L = 1$ м

Масса ЭМ: $m = 7939$ кг

Подъемное усилие: $P = 29889$ Н

Индукция в магнитопроводе: $B = 1.85$ Тл

Используя данные, полученные в ходе проведения аналитического расчета упрощенной математической модели, в программе FEMM (Finite Element Method Magnetics, Магнитные расчеты методом конечных элементов) было проведено построение двухмерной математической модели ЭМ подвеса. С помощью

математической модели была проведена оптимизация ЭМ подвеса путем изменения его формы и геометрических параметров. В результате оптимизации были достигнуты необходимое подъемное усилие и индукция в магнитопроводе.

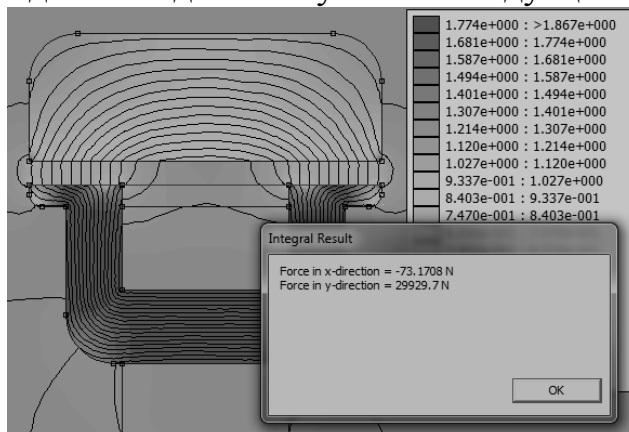


Рисунок 4. — Оптимизированная модель ЭМ подвеса посредством скругления углов и изменением параметров геометрии

Данную модель вполне можно считать конечным вариантом оптимизации. Хотя для достижения поставленной цели и пришлось пожертвовать некоторым объемом металла, но в итоге удалось добиться необходимого значения индукции в магнитопроводе и ее равномерного распределения, а также получить необходимую величину подъемной силы.

Выводы.

1. По результатам аналитического расчета ЭМ подвеса была построена точная модель в программе FEMM. Исследования показали, что упрощенная модель может быть использована только в качестве предварительного определения геометрических параметров ЭМ вследствие своей неточности.
2. В результате оптимизации точной модели были достигнуты необходимое подъемное усилие и индукция в магнитопроводе за счет увеличения геометрических размеров ЭМ, что привело к увеличению массы магнита.
3. Для уменьшения массы используемого материала с учетом выполнения предъявляемых требований к ЭМ логичным решением является увеличение плотности тока в обмотке.

Литература

1. «Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом». Под ред. В.И. Бочарова и В.Д. Нагорского. – М.: Транспорт, 1985. 279 с.
2. «Транспорт с магнитным подвесом». Под ред. В.И. Бочарова и В.Д. Нагорского. – М.: Машиностроение, 1991. 320 с.
3. Чуднов В.К.: «Разработка математической модели электромагнита в составе электромагнитной лыжи транспортного колеса». МЭИ, 1989.

*Д.С. Томашевич, магистр; рук. Г.С. Леневский, к.т.н., доц.
(ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, г.Могилев)
Т.С. Ларькина, аспирант; рук. В.В. Лыготчиков, д.т.н., проф.,
(ФГБОУ ВПО "НИУ МЭИ" в г. Смоленске, Российская Федерация, г. Смоленск)*

**АНАЛИЗ И ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ
ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА**

Большинство современных технологических процессов, требует автоматизации. Кроме того, управление сложными механизмами и агрегатами не представляется возможным без точных измерений различных физических величин. Немаловажными являются измерение давления, измерение угловой скорости, линейной скорости и пр. Выявлено, что для установок индукционного нагрева важен контроль температурных параметров.

В зависимости от поставленной задачи выбор датчика температуры будет продиктован следующими критериями:

1. диапазон измерения;
2. тип выходного сигнала;
3. точность измерения;
4. помехозащищенность сигнала датчика;
5. быстродействие;
6. отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр.

Также учтем специфические требования для данной системы:

- способность работы при высоких температурах;
- способность работы при высоких давлениях;
- функциональность с большими перепадами напряжения;
- защита от напряжения питания обратной полярности (минимум той же величины, что и номинальное);
- защита от короткого замыкания по цепи питания и выхода;
- защита от перенапряжения;
- сниженное энергопотребление;
- требования к электромагнитной совместимости и устойчивость к электромагнитному высокочастотному излучению [1].

Независимо от типа выбранного датчика, общим принципом для всех датчиков температуры является принцип преобразования температуры: измеряемая температура преобразуется в электрическую величину. За то, как именно происходит преобразование, отвечает первичный преобразователь.

В ходе работы над проектом индукционной системы нагрева возникла потребность в точном, быстродействующем датчике, с широким диапазоном измеряемых температур.

Проведен ряд экспериментальных исследований со следующими датчиками: DS18S20, OMRON ES1B, LM75A, Vishay NTCLE100E3, MLX90614.

Технические характеристики рассматриваемых датчиков температуры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица технических характеристик рассматриваемых датчиков температуры

Датчик	диапазон измерения	тип выходного сигнала	точность измерения	помехозащищенность сигнала датчика	быстродействие	отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр
DS18S20	-55°C - +125°C	цифровой	±0.5°C в диапазоне -10°C - +85°C	Да	750 мс	Да
OMRON ES1B	10°C - 260°C	аналоговый	±1°C	Нет	300 мс	Да
LM75A	-55 °C - +125 °C	аналоговый	±2 °C в диапазоне -25 °C - +100 °C	Нет	100 мс	Нет
Vishay NTCLE100E 3	-40 °C - +125 °C	аналоговый	±2 °C	Нет	2000 мс	Нет
MLX90614	-70°C - +380°C	цифровой	±0.5°C в диапазоне 0 °C - + 50 °C; ±0.1°C в ограниченном диапазоне	Да	100 мс	Да

Примечание: табличные данные взяты из технической документации на соответствующий датчик.

На основе испытаний выявлено, что наиболее оптимальным датчиком для системы индукционного нагрева является бесконтактный цифровой инфракрасный датчик MLX90614.

В ходе исследований был испытан вышеописанный датчик в качестве сканера теплового поля. Экспериментальная установка представлена на рисунке 1 [2].

Установка состоит из:

- сервоприводов для перемещения по двум осям,
- датчика MLX90614,
- системы управления и сбора данных.

Принцип работы заключается в дискретном последовательном сканировании точек пространства благодаря перемещению датчика температуры с помощью сервопривода.

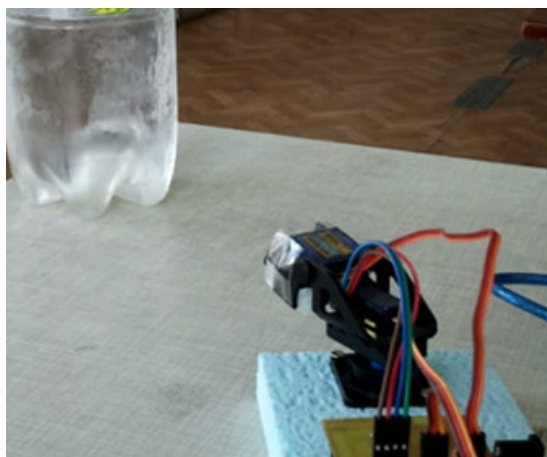


Рисунок 1. — Экспериментальная установка для измерения теплового поля

Данные о каждой отсканированной точке передаются на компьютер по интерфейсу USB, далее строится диаграмма теплового поля, представленная на рисунке 2.

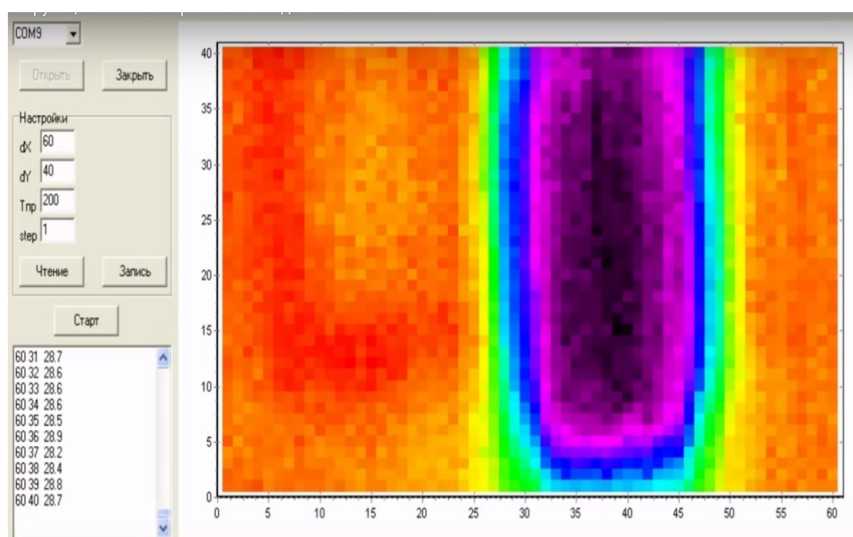


Рисунок 2. — Экспериментальная установка для измерения теплового поля

Бесконтактный датчик измерения температуры MLX90614 удовлетворил всем поставленным критериям выбора: измерения производятся в инфракрасном диапазоне, наличие I2C интерфейса, коммуникация с любым микроконтроллером без использования АЦП. Датчик позволяет получать 16-разрядное значение измеряемой температуры. Диапазон измерения: $-70^{\circ}\text{C} \dots +380^{\circ}\text{C}$. Ток потребления: 20 мА (в спящем режиме: 5 мА) [3].

Литература

1. Ларькина, Т.С. Моделирование индукционного нагрева изотермического контейнера / Т.С. Ларькина // Международный научно-исследовательский журнал № 07 (38) Август 2015 (International research journal) ISSN 2303-9868 print, ISSN 2227-6017 online: периодич. теорет. и науч.-практ. журн. / Екатеринбург, 2015. – С.67-69.
2. Томашевич Д.С. Разработка и исследование установки с микропроцессорной системой управления для термической обработки продуктов питания/ Д.С Томашевич; Науч. рук.канд. техн. наук, доц. Г.С Ленеvский// международная научно-техническая конференция молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности»: матер. конф., Могилев, 22-23 октября 2015г./ М-во образованияРесп. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. Ун-т, 2015. –С.163.
3. Интернет

ресурс:

<https://www.melexis.com/en/product/MLX90614/Digital-Plug-Play-Infrared-Thermometer-TO-Can>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Одним из важных факторов, влияющих на срок службы асинхронных электродвигателей, является обеспечение номинального температурного режима. При этом крайне важно, чтобы вентиляционная система рассматриваемого электродвигателя обеспечивала не только необходимый, но и номинальный объем воздуха, прогоняемый через межреберные каналы, для достижения наилучшего отвода тепловых потерь. Более того, под каждую серию и каждый типоразмер должен быть вентилятор, спроектированный конкретно под данную электрическую машину

На стадии проектирования любого асинхронного электродвигателя обычно определяется только необходимый объем воздуха для охлаждения электродвигателя при работе под номинальной нагрузкой. На самом деле тепловой и вентиляционный расчеты связаны между собой, воздействуя друг на друга. Цель данной работы – показать способ расчета вентиляционных режимов работы асинхронного электродвигателя и как их можно экспериментально снять.

Для расчета вентиляционных режимов в рассматриваемом асинхронном электродвигателе можно воспользоваться его упрощенной вентиляционной схемой замещения, представленной на рис.1.

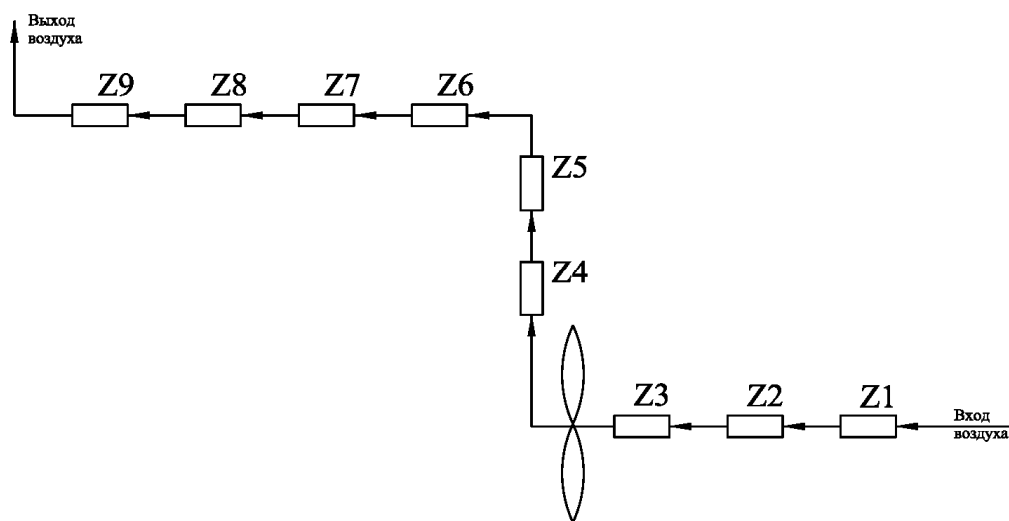


Рисунок 1. — Упрощенная вентиляционная схема замещения рассматриваемого асинхронного электродвигателя

В качестве испытуемого электродвигателя выступает асинхронный электродвигатель АИРС100S4.

В схеме замещения приведены следующие обозначения аэродинамических сопротивлений:

Z1 – сопротивление входа в подшипниковый щит через входные отверстия;

Z2 – сопротивление выхода из подшипникового щита через входные от-

верстия;

Z3 – сопротивление поворота потока воздуха перед входом в силовой вентилятор;

Z4 – сопротивление потока воздуха за силовым вентилятором;

Z5 – сопротивление поворота потока воздуха в направляющем кожухе;

Z6 – сопротивление поворота потока воздуха перед входом в межреберные каналы под кожухом;

Z7 – сопротивление поворота потока воздуха входа в межреберные каналы под кожухом;

Z8 – сопротивление поворота потока воздуха в межреберных каналах под кожухом;

Z9 – сопротивление выхода потока воздуха из межреберных каналов в воздушное пространство.

Суммарное сопротивление вентиляционной цепи электродвигателя при его работе в номинальном:

$$Z_{\text{эвл}} = \sum_{i=1}^9 Z_i \quad (1)$$

Расчет аэродинамических сопротивлений можно произвести по методике, предложенной в [1,2]. Расчет производительности Q и напора H производится на основании параметров вентилятора [3].

Далее задача расчета вентиляционной модели электродвигателя сводится к расчету аэродинамических характеристик вентиляторов и характеристики воздухопроводящей сети. Окружная скорость на наружном диаметре вентиляторов:

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60}, \quad (2)$$

где D_2 - наружный диаметр лопаток вентиляторов, м;

n – частота вращения вентиляторов, об/мин.

Расход воздуха при номинальном режиме работы:

$$\theta_n = 4 \cdot \theta^* \cdot \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot u_2, \quad (3)$$

где b_2 - ширина лопатки вентилятора малого ротора, м.

Относительный радиус вентилятора силового ротора, соответственно:

$$r_c^* = \frac{D_2 - 2 \cdot L_c}{D_2}, \quad (4)$$

где L_c - длина лопаток вентилятора, м.

Давление воздуха, создаваемое вентилятором, определяется внешней характеристикой вентиляционной системы в относительных единицах для номинального режима:

$$p_n^* = 1 - r_c^{*2} \cdot (0.5 - \theta^{*2}) + k, \quad (5)$$

где k - коэффициент восстановления статического момента.

Реальное давление воздуха, создаваемое вентилятором для номинального режима:

$$p_n = p_n^* \cdot \rho \cdot u_2^2, \quad p_3 = p_3^* \cdot \rho \cdot u_2^2, \quad (6)$$

где ρ - плотность охлаждающей среды, кг/м³.

Потери давления в сети при работе в номинальном режиме:

$$\Delta p_n = Z_{нв} \cdot \theta_n^2, \quad (7)$$

Используя приведенные выше формулы, можно рассчитать и построить внешние аэродинамические характеристики вентилятора рассматриваемого электродвигателя: $P_n, \Delta P_n = f(\theta_n)$.

Для рассматриваемого электродвигателя они представлены на рис.2

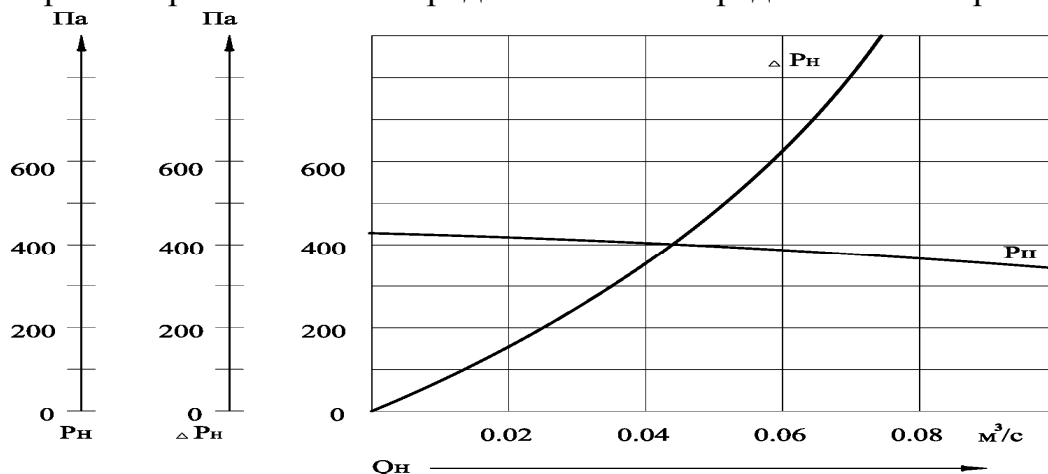


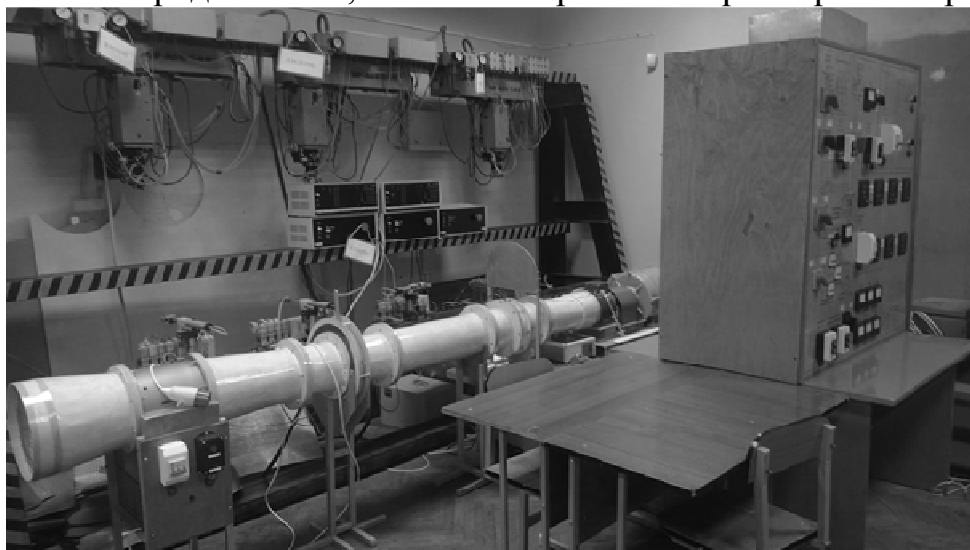
Рисунок 2. — Внешние аэродинамические характеристики электродвигателя АИРС 100S4

Для экспериментального исследования вентиляционных режимов работы асинхронного электродвигателя был разработан научно – исследовательский комплекс. Общий вид комплекса представлен на рис.3.

Основными элементами стенда являются:

- Станция управления;
- Персональный компьютер;
- Электромашинный агрегат;
- Аэродинамическая труба.

Станция управления предназначена для формирования режимов работы испытуемого электродвигателя, снятия измеряемых параметров и передачи их



далее на персональный компьютер.

Персональный компьютер является верхним звеном в системе управления и предназначен для управления всем комплексом.

Аэродинамическая труба представляет собой установку для испытания вентиляторов и определения его аэродинамических характеристик.

Электромашинный агрегат представляет собой два двигателя - испытуемый и двигатель постоянного тока с независимым возбуждением – объединенные на общий вал. Нагрузка на валу создается регулированием потока в обмотке возбуждения двигателя постоянного тока. Регулирование потока осуществляется с помощью однофазного автотрансформатора на стороне переменного тока с последующим его выпрямлением.

Для расширения функциональности комплекса была разработана цифровая система управления, которая реализует:

- Формирование режимов работы испытуемого асинхронного электродвигателя;
- Регулирования нагрузки на валу;
- Управление станцией управления;
- Регистрация контролируемых величин в режиме on-line с последующим занесением данных в архив.

В ее основе лежит программируемый логический контроллер ПЛК 110-220.60.P-M. Используя твердотельные реле, данный контроллер управляет силовыми каналами питания испытуемого асинхронного электродвигателя и формирует согласно задающего воздействия характер изменения нагрузки в функции времени.

В настоящее время в качестве программного обеспечения используются два программных пакета:

- Trace Mode;
- LabView.

Для отображения экспериментальных данных на персональном компьютере используется SCADA – система Trace Mode v5. На ее базе был создан тренд, в котором данные отображаются в текстовой и графической форме. На данный момент происходит переход на шестую версию данного программного пакета.

Для настройки приборов и параметров эксперимента применяется программный пакет LabView. На его базе был разработан графический интерфейс, с помощью которого можно запрограммировать режим работы испытуемого асинхронного электродвигателя, настроить график изменения нагрузки, запрограммировать приборы, и, в конечном счете, запустить эксперимент в полностью автоматическом режиме.

Основным звеном для исследования вентиляционных режимов является аэродинамическая труба. Она состоит из:

1. Воздушный нагнетатель (устройство для компенсации разрежения в трубе);

2. Диафрагма регулирующая (устройство для регулирования площади сечения аэродинамической трубы);
3. Струевыпрямитель (устройство для превращения турбулентного потока в ламинарный);
4. Диафрагма измерительная (узел для измерения расхода воздуха).

В качестве датчика давления используется датчик РС-28G. В качестве датчика разности давлений используется прибор APR2000G. Для измерения температуры воздушного потока используется термопара. Все сигналы приходят на звено среднего уровня, где прибор РМ-1 рассчитывает расход и давление воздушного потока и передает данный на звено верхнего уровня – на персональный компьютер.

На данный момент данная система проходит интенсивную настройку и обкатку.

Литература

1. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко [и др.]; под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 254 с.
2. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах: Учеб. пособие для вузов: Л.Энергоатомиздат, Ленингр.отд-ние, 1986. – 256 с.: ил.
3. Виноградов В. И. Вентиляторы электрических машин. – Л.: Энергоиздат. – Ленингр. отд-ние, 1980. – 200 с.: ил.

*А.В. Халла, к.т.н.; Д.В. Кирпа
(ВА ВПВО ВС РФ, г. Смоленск)*

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СШП ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

В настоящее время широкое распространение получили РЭС, использующие сверхширокополосные (СШП) сигналы. Одной из проблем при создании СШП РЭС является направленное излучение и прием сигналов. Для решения данной задачи предлагается использовать сверхширокополосную зеркальную антенну. Для создания сверхширокополосной зеркальной антенны разработан следующий алгоритм синтеза (рис. 1).

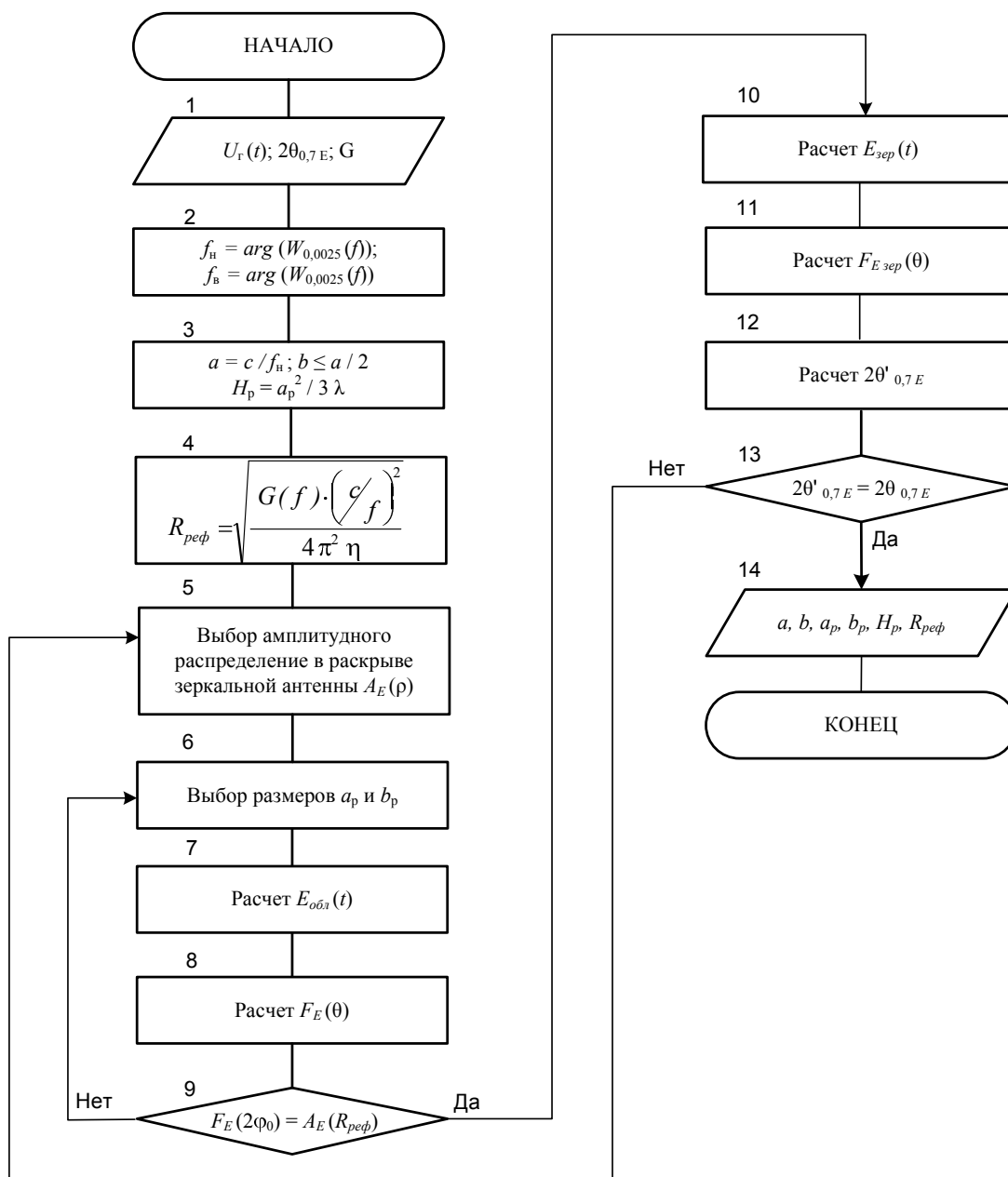


Рисунок 1. — Алгоритм синтеза сверхширокополосной зеркальной антенны

В основу предлагаемого алгоритма синтеза положен расчет напряженности электрического поля, создаваемого сверхширокополосной зеркальной антенны в произвольной точке пространства (рис. 2) [4]:

$$E_{\text{зеп}}(t) = \frac{1 + \cos(\theta)}{4\pi c r} \int_0^R \int_0^{2\pi} \left[\frac{1 + \cos\left(2 \arctg\left(\frac{\rho''}{2f}\right)\right)}{4\pi c f} \int_{-\frac{a_p}{2}}^{\frac{a_p}{2}} \int_{-\frac{b_p}{2}}^{\frac{b_p}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) E_o'\left(t - \frac{\rho'}{c} - \frac{r'}{c}\right) dx dy \right] \rho'' d\varphi'' d\rho''.$$

(1)

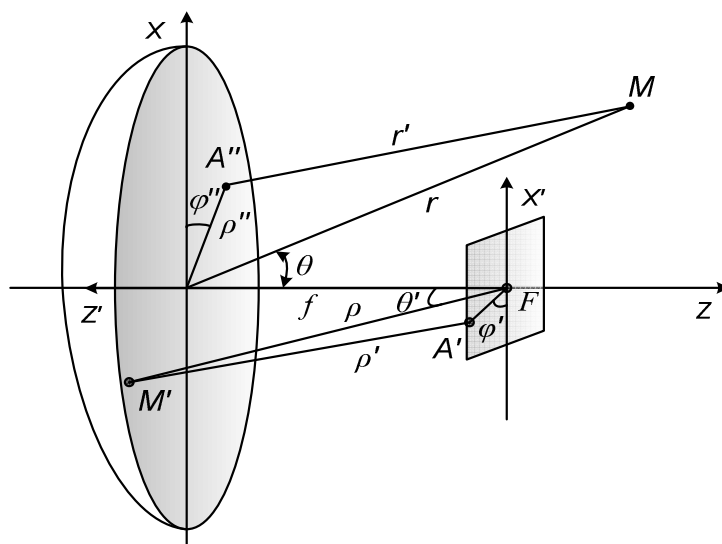


Рисунок 2. — К расчету поля зеркальной антенны

Реализация алгоритма синтеза на практике показала высокую сходимость численных и натурных измерений, расхождение результатов составило менее 10 % (рис. 3 и 4) [1-3].



Рисунок 4. — Макет зеркальной антенны

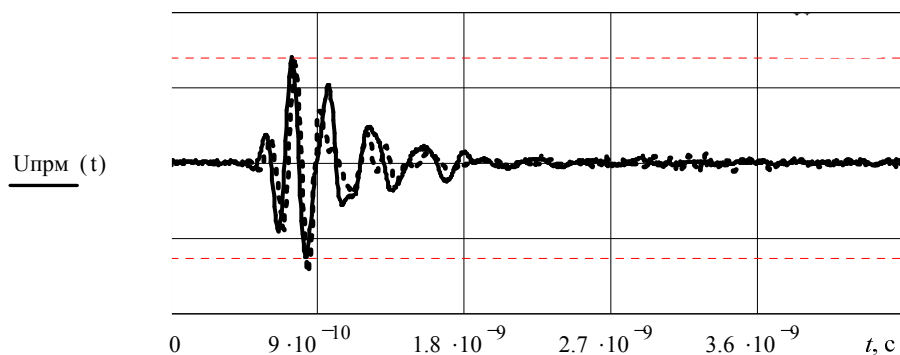


Рисунок 4. — Сигнал в направлении нормали к зеркальной антенны

..... — расчетный;
 — экспериментальный.

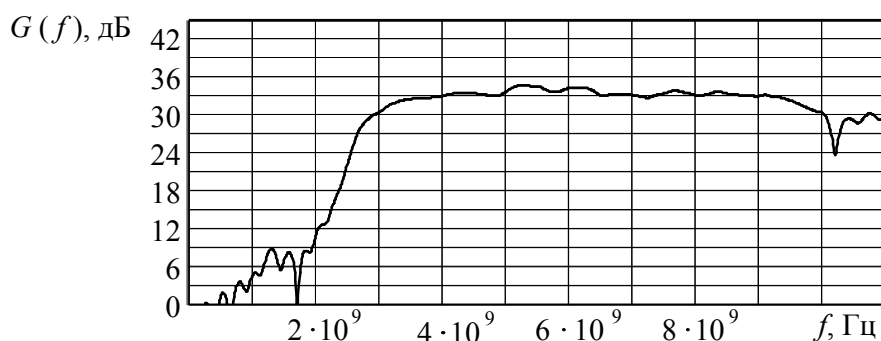


Рисунок 5. — Экспериментальный коэффициент усиления

Таким образом, предложенный алгоритм синтеза сверхширокополосной антенны позволяет рассчитать размеры облучателя и рефлектора зеркальной антенны для заданного сверхширокополосного сигнала генератора, коэффициента усиления и ширины диаграммы направленности зеркальной антенны.

Литература

1. Айзенберг Г. З. Антенны УКВ: В 2-х ч., Ч. 1. М., Связь, 1977. 384 с.
2. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. 2-е изд. перераб. и доп. М., Радио и связь, 1988. 440 с.
3. Гольдштейн Л. Д. Электромагнитные поля и волны. 2-е изд. перераб. и доп. М., Сов. радио, 1971. 664 с.
4. Халла А.В., Зайцев А.В. Сверхширокополосная зеркальная антенна с частотным диапазоном от 3 до 10 ГГц//Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ. Выпуск 3. Труды научно-технической конференции «Радиолокация. Теория и практика», посвященной 60-летию. Москва. ОАО ЦНИИ «Электроника».

В.А. Чернышев, д.т.н., проф., А.А. Чередников, асп.

ИСПЫТАНИЕ СТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПРОМЕЖУТКА МАКЕТА СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

На сегодняшний день существуют множество методов диагностики изоляции энергетического оборудования, в том числе электродвигателей питание которых осуществляется от преобразователей частоты. Поскольку асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором являются наиболее массовой продукцией электромашиностроения и часто эксплуатируются на весьма мощных и ответственных электроприводах то они требуют и своевременной их диагностики. На долю таких двигателей приходится более половины мирового энергопотребления. Так на техническое состояние изоляции обмоток статора этих двигателей влияют следующие факторы [1]:

колебания напряжения в сети, температурное воздействие, влажность окружающей среды, механическая вибрация, а для электродвигателей питаемых от преобразователей частоты особым видом воздействия является

воздействия импульсного перенапряжения возникающего в результате работы этих преобразователей. Так до настоящего времени используемые в низковольтных двигателях обмоточные провода выпускали без учета стойкости к перенапряжениям, возникающим в обмотке при питании импульсным напряжением. Применение систем частотного управления асинхронными двигателями привело к изменению уровня электрических эксплуатационных нагрузок, что является причиной ускоренного электрического износа изоляции с последующим ее пробоем. В связи с этим проведение качественной диагностики

изоляционной системы таких двигателей особенно с возможностью прогноза оставшегося срока службы до возникновения необратимых изменений в структуре изоляционных промежутков машины, без вывода электроприводов из работы – актуальная задача.

Для апробирования на практике стойкости изоляционной системы статорной обмотки к воздействию таких импульсных перенапряжений был смонтирован генератор импульсов принципиальная схема которого приведена на рис.1. Дв. в схеме это испытуемый макет сегмента статора реального асинхронного двигателя который был взят в качестве образца. Данный макет был изготовлен на электромашиностроительном заводе и представляет собой сегмент магнитопровода статора с установленным в его пазы обмотками прошедшими полный цикл заводского изготовления и пропитывания по технологии. Данная модель позволила провести испытания в соответствии с требованиями международной электротехнической комиссии МЭК применительно к электродвигателям питание которых осуществляется от преобразователей частоты.

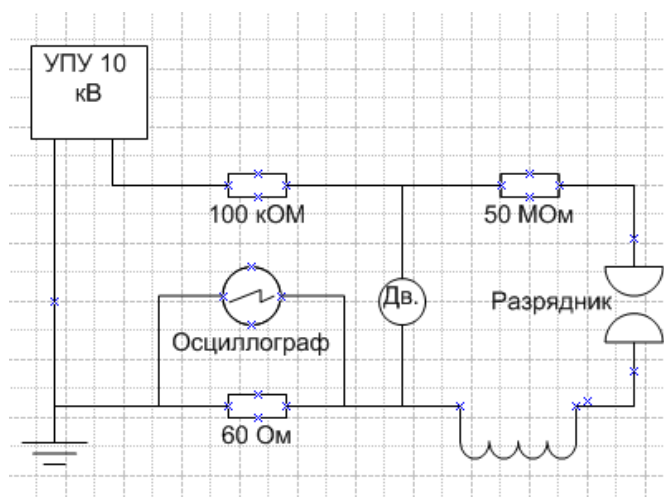


Рисунок 1. — Принципиальная схема генератора импульсов

Данный метод требует создания аналогичного импульсного разрядника способного генерировать импульсы напряжения с такими же величиной, частотой повторения и временем нарастания, как и у импульсов машины, работающей в реальных условиях, с целью их испытания по этому международному стандарту, и подтверждения их работоспособности при работе от преобразователей частоты в течении длительного периода.

В ходе проведения испытаний на стойкость изоляционной системы макета к воздействию импульсного перенапряжения макет периодически подвергался воздействию импульсного перенапряжения. В период испытаний было проведена серия из 35 циклов воздействия с общим суммарным числом часов равным 100. Так же в течении всего периода испытаний проводились замеры параметров изоляции макета в каждом цикле как до так и непосредственно после импульсного воздействия. Для этой цели использовался мегаомметр модели С.А. 6547, с помощью которого получили информацию об основных закономерностях развития поляризационных процессов в изоляционном промежутке имеющим

выходной параметр вида $[t^*I(t)]_{\max}$, числовое значение которого действительно формируется всеми видами поляризации, развивающимися на выбранном временном интервале. Поэтому величина максимума $[t^*I(t)]_{\max}$ и его положение на временной оси определяют состояние изоляционного промежутка и степень изношенности работающих в нем материалов. Величина $[t^*I(t)]_{\max}$ хорошо коррелирует с остальными известными параметрами, такими как индекс поляризации ($PI = R_{npu\ t=600\ сек}/R_{npu\ t=60\ сек}$), коэффициент диэлектрической абсорбции ($DAR = R_{npu\ t=60\ сек}/R_{npu\ t=30\ сек}$), коэффициент диэлектрического разряда ($DD = I_{npu\ t=60\ сек}/U * C_{из.}$), величина времени релаксации ($\tau = R_{из} * C_{из.}$), величина возвратного напряжения и другие, и поэтому в рассматриваемом методе приобретает смысл некоторого обобщенного параметра TPI (Total Polarization Index), а зависимость $t^*I(t)=f(t)$ отражает весь спектр развивающихся процессов диэлектрической абсорбции.

Таблица 1 – Выборка данных измерений полученных в ходе проводимых испытаний

№ опыта	R ТОм	Iyt пА	DAR	PI	TPI
1	10	408	1,745	4,664	204
5	7,33	437	1,675	4,469	190
10	10	259	1,796	4,472	217
15	7,65	328	1,695	4,941	230
20	7,93	313	1,671	5,257	210
28	3,48	713	1,748	3,608	148
29	5,21	482	1,637	4,036	175
30	5,06	495	1,674	3,582	152
35	2,848	880	1,626	2,697	77

В таблице 1 представлены данные измерения полученных в ходе проведения серии испытаний макета. Измерения проводились с учетом того, что изоляция достаточно долго времени отдыхала после импульсного воздействия. Из выборки данных отчетливо видно стойкое спадание сопротивления изоляционного промежутка от начального в 10 ТОм до настоящих 2,8 ТОм. При этом возможно построение зависимости отношения сопротивления R к обобщенному индексу поляризации TPI рис. 2. Где четко прослеживается тенденция в изменении параметров изоляционной системы.

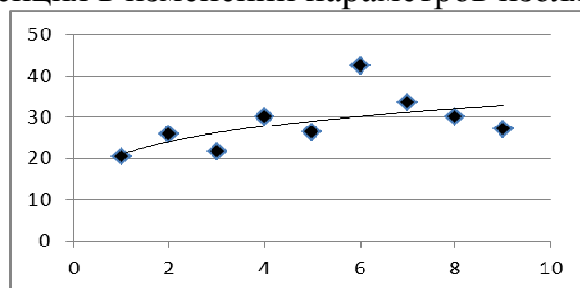


Рисунок 2. — Линия тренда построенная для последовательной выборки данных отношения сопротивления R к обобщенному индексу поляризации TPI

Литература

1. Обзор методов мониторинга изоляции асинхронных двигателей, работающих от преобразователей частоты. Промышленная ЭНЕРГЕТИКА №7 2015.
2. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения.–М.:Энергоатомиздат, 1992.–240 с.:ил.
3. МЭК технические условия TS60034-18-41:2006.

*В.В. Чередов, аспирант;рук. Г.С.Леневский, к.т.н., доц.
(Белорусско-Российский Университет, г. Могилёв)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Предложенная тема является актуальной, поскольку в настоящее время существует необходимость повышения производительности, энергоэффективности и надежности механических передач автоматизированных электроприводов.

В ходе исследования проведен синтез системы автоматизированного контроля геометрических характеристик механических передач автоматизированных электроприводов. Данная система позволит контролировать геометрические характеристики механических передач в соответствии с допустимыми нормами для обеспечения требуемой надежности и безопасности, а также повысить качество механических передач автоматизированных электроприводов.

В работе представлен алгоритм автоматизации структурного синтеза трансформаторных элементов сложной. Для удобства работы с элементной базой необходимо чтобы каждый трансформаторный элемент имел свое наглядное графическое представление. К настоящему времени запатентовано огромное количество трансформаторных элементов (различного рода редукторов механической, гидравлической и электрической природы) и постоянно изобретаются новые.

Предусмотреть удобные для восприятия графические образы трансформаторных элементов для всех механизмов преобразования параметров потока мощности практически невозможно. Базовые элементы современных пакетов моделирования предусматривают набор только наиболее распространенных трансформаторных элементов. Кроме того, увеличение элементной базы создает определенные трудности для выбора нужных элементов и построения графического образа модели в целом [5, 7, 8].

Также имеются специализированные программные обеспечения для моделирования применительно к конкретным объектам (гидромеханические трансмиссии, электрические силовые приводы и т. д.) в которых предусмотрен набор всех трансформаторных элементов применяемых в рассматриваемом техническом объекте. Однако, внедрение принципиально нового трансформаторного механизма создает сложности в таких программных продуктах и требует добавления новых элементов.

Актуальность проблемы заключается в создании универсальных схем

замещения, либо универсального математического описания работы трансформаторного элемента с дальнейшей загрузкой пользователем графического изображения трансформатора (понятного и удобного для восприятия).

Универсальность математического описания базируется на аналогиях в системах различной физической природы. Например, аналогия в поступательной и вращательной механических системах: модель зубчатой передачи и рычажного механизма описываются одинаковым уравнением. Передаточное число (параметр трансформаторного элемента) во вращательной системе определяется как отношение чисел зубьев ведущего и ведомого зубчатых колес, а в поступательной отношением длин рычагов (качели). Такой же принцип положен в основу математического описания работы цепных и ременных передач.

Для демонстрации результатов применения подсистемы был создан тестовый набор базовых элементов и составленных из них более сложных конструкций [3, 7-9, 16]. Приведем примеры некоторых из них (рисунки 3-5).

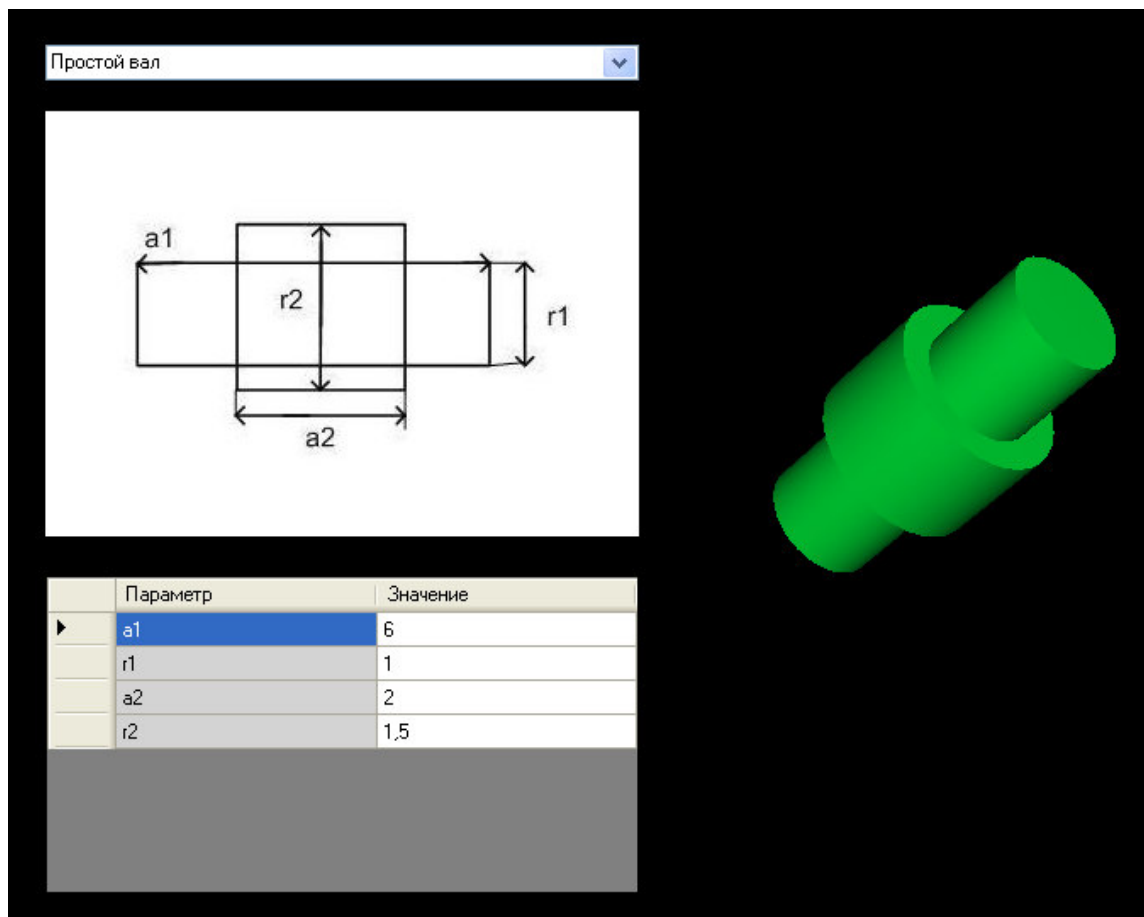


Рисунок 3. – Представление вала

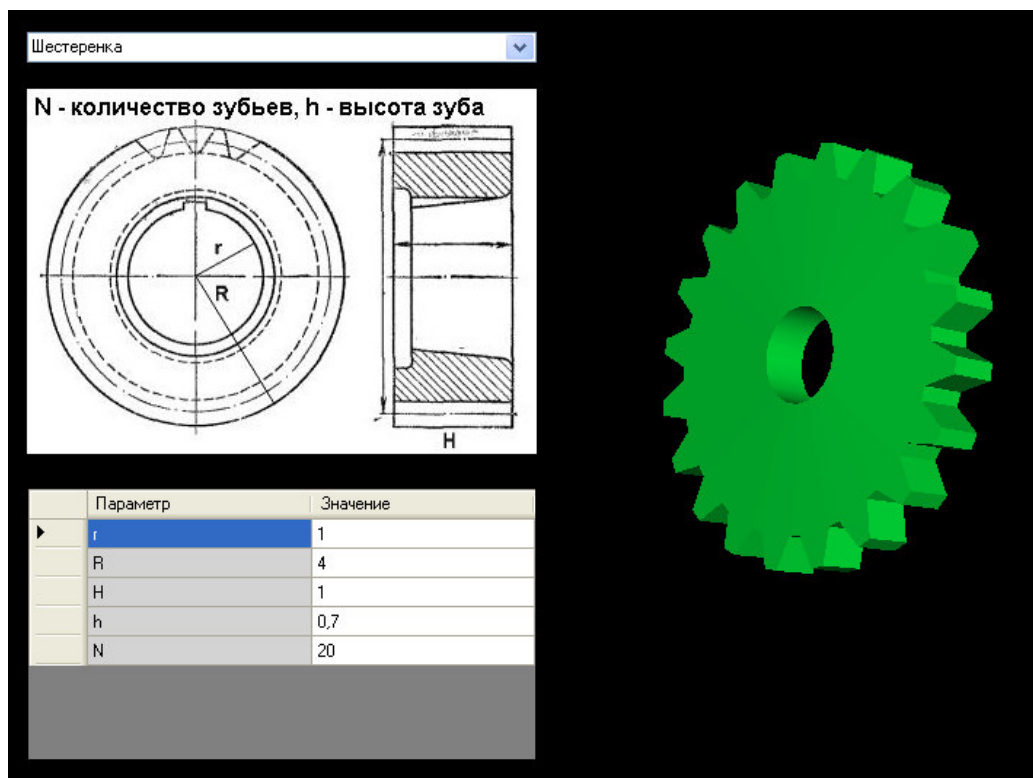


Рисунок 4. – Представление шестерни

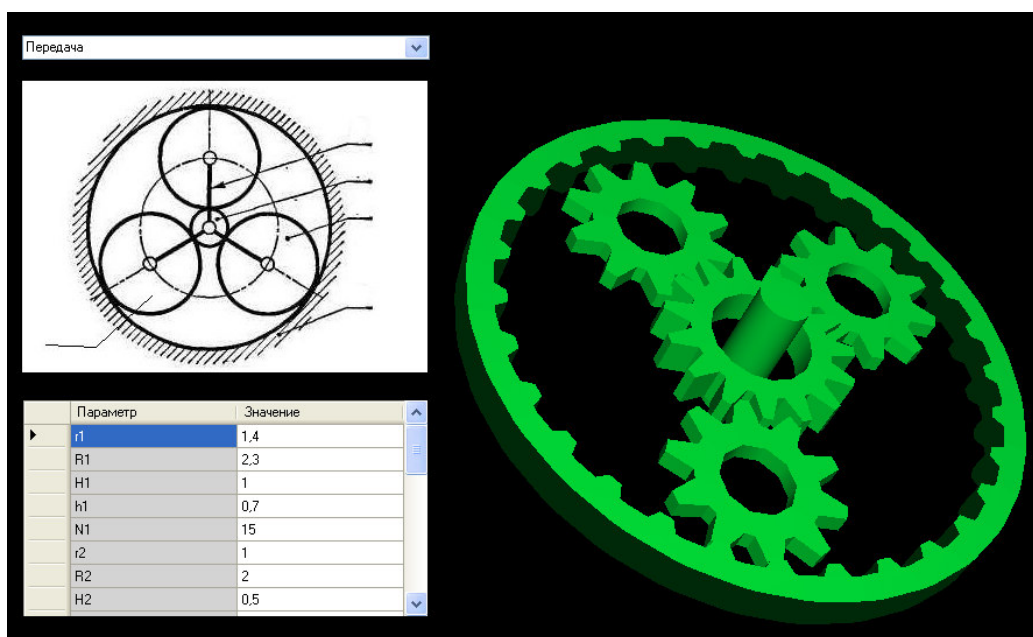


Рисунок 5. – Представление планетарной передачи, построенное на базе простых элементов

На основе изложенной методики представления структуры планетарных коробок передач можно осуществить их структурный синтез, путем генерирования всех возможных вариантов графов и отбраковывая невозможные и неподходящие варианты, решая задачи компоновки планетарных коробок передач в автоматизированном режиме и оптимизации массогабаритных параметров с использованием 3D-моделей.

Литература

1. GameDev.ru // Одноступенчатая зубчатая передача (шестеренка) opengl [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.gamedev.ru/code/forum/?id=126000> - Дата доступа: 07.10.2015.
2. MetodPro.ru // Иерархический подход к получению математических моделей [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://metodpro.ru/index.php?type_page&katalog&id=845&met1 - Дата доступа: 07.10.2015.
3. Алексейчикова, А.Ю. Автоматизация задач компоновки планетарных механизмов / А.Ю. Алексейчикова, И.А. Евсеенко // 48 студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: Материалы конф. – Могилев, 23-24 мая 2012 г.: / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2012. – С. 20-22.
4. Алексейчикова, А.Ю. Метод имитационного моделирования работы узлов локальной вычислительной сети / А.Ю. Алексейчикова, А.И. Якимов, К.В. Захарченков // Студенческий вестник, октябрь, 2010 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by/> - Дата доступа: 21.10.2015.
5. Алексейчикова, А.Ю. Методы поддержки принятия решений по рациональному выбору параметров информационной системы предприятия / А.Ю. Алексейчикова; науч. рук.: К.В. Захарченков // 45-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конф., редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.] (18 мая 2009 г.). – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2009. – С.9.
6. Википедия // Планетарная передача [Электронный ресурс] - 2012. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сателлит_\(механика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сателлит_(механика)) - Дата доступа: 07.10.2015.
7. Википедия // Система автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] - 2012. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/САПР> - Дата доступа: 07.10.2015.
8. Евсеенко И.А. Автоматизация формирования структуры динамических моделей на основе метода перебора с возвратом. Информатика. – 2007. - № 4. – С. 37-47.

*Л.Г. Черная, к.т.н., доц.; Д.И. Архипцов, маг.
(ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ДЫМОСОСА ПАРОВОГО КОТЛА

Модернизация системы управления и электрооборудования механизма дымососа парового котла модели БКЗ 220-9,8Г-1 с применением информационно-управляющей системы управления на базе микропроцессорной техники. Система автоматизации и регулирования дымососа обеспечивает регулирование разряжения в топке котла за счет применения регулируемого электропривода и поддержание содержания СО в дымовых газах, за счет регулирования соотношения расходов газа и воздуха. Это позволит обеспечить безопасную работу энерго- и ресурсосбережение.

Паровой котёл модели БКЗ 220-9,8Г-1 установлен в филиале «Могилевская ТЭЦ2» РУП «Могилевэнерго». Котёл предназначен для выработки насыщенного пара, используемого для технологических нужд промышленных предприятий, в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Для отсоса дымовых газов из конвективной шахты парового котла и создания разрежения в топке, на котле установлен дымосос типа Д-21,5х2У двухстороннего всасывания. Одним из основных приводов в конструкции парового котла является электропривод дымососа. Дымососы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с малым числом включений и большим количеством часов работы в году. Необходимый диапазон частоты регулирования не превышает 6. Нагрузка на валу механизма носит чисто вентиляторный характер, т.е. статический момент сопротивления на валу механизма пропорционален квадрату скорости.

Модернизация системы управления и электрооборудования механизма дымососа парового котла модели БКЗ 220-9,8Г-1 выполнена с применением информационно-управляющей системы автоматизации на базе микропроцессорной техники. Для обеспечения безопасной работы парового котла и энерго- и ресурсосбережение применяется частотно-регулируемый электропривод механизма дымососа, позволяющих поддерживать разрежение в топке котла на заданном уровне.

Система управления дымососа парового котла строится на базе микропроцессорного логического контроллера (MicroPC), данные с которого поступают по промышленной сети в промышленный компьютер (PC). На нем отображается ход техпроцесса в реальном масштабе времени и информация о возникающих неполадках. Данная система управления имеет возможность подключения к системе управления верхнего уровня, что позволяет добиться высокой степени автоматизации производства.

Информационно-управляющая система автоматизации механизма дымососом является супервизорной. На нижнем уровне располагаются датчики и исполнительные механизмы. Для реализации функции сбора данных, регулирования и программно-логического управления на среднем уровне расположен MicroPC. Для реализации функции контроля и сигнализации на верхнем уровне располагается промышленный компьютер PC. Для сбора данных MicroPC должен быть укомплектован модулями I/O: аналогового входа (AI); аналогового выхода (AO); дискретного входа (DI); дискретного выхода (DO).

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 1.

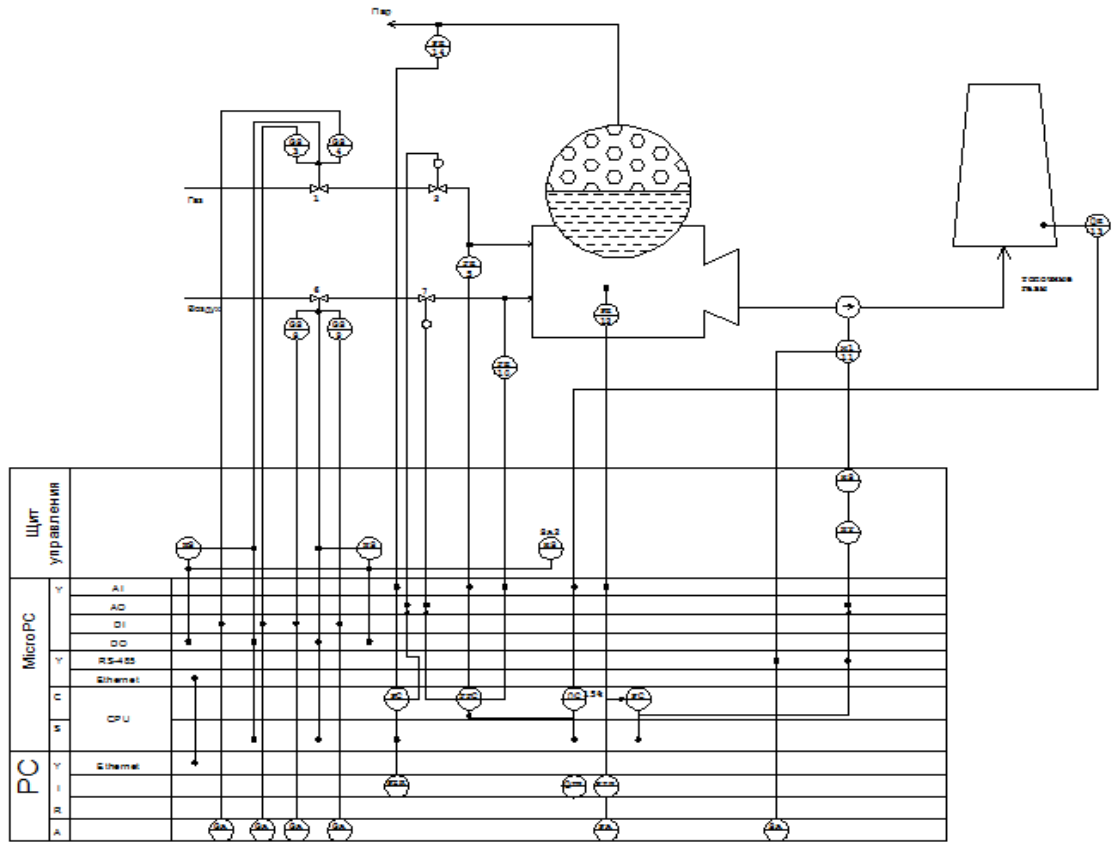


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизации

Датчик содержания CO (QE), датчик расхода газа (FE), датчик расхода воздуха (FE), датчик давления пара (PE), датчик разряжения в топке (PE) - подключены к AI;концевые выключатели контроля положения клапанов (GS) - подключен к DI.

Связь между преобразователем частоты (NY) и микропроцессорным контроллером MicroPCосуществляется с помощью RS-485, управляющее воздействие на частотный преобразователь поступает с адаптивного PI-регулятора через модуль аналогового выхода AI. Информация с микропроцессорного контроллера MicroPC на промышленный компьютер PC передается по локальной сети Ethernet.

При выборе комплекса технических средств автоматизации учитывалась учитывать их стоимость, производительность и надежность.

Микропроцессорный контроллер MicroPCADAM-5510E/TCP [1] фирмы ADVANTECHвыбирался с учетом следующих требований:

- надежность и долговечность;
- возможность организации в единую сеть предприятия;
- достаточный объем оперативной памяти для контроля состояния технологического оборудования;
- достаточный объем памяти для программ пользователя (управляющие и др. программы);
- достаточное количество необходимых входов/выходов.

ADAM-5510E/TCP поддерживает интерфейс Ethernet, RS-485, имеет 8 слотов для установки модулей ввода/вывода: AI-ADAM-5017, DI- ADAM-5051, DO - ADAM-5056, AO - ADAM-5024/

Регулирование разряжения в топке обеспечивается программно с помощью блока идентификации объектаIDNT- и блока адаптивного регулированияAPID, встроенных в программное обеспечение SCADATraceMode.

Блокидентификации объекта IDNT предназначен для определения параметров динамической модели управляемого объекта- механизма дымососа. Для этого он снимает кривую отклика объекта на прямоугольный импульс по сигналу управления. Путем математической обработки импульсной кривой объекта определяются его параметры в виде передаточной функции инерционного звена первого порядка с запаздыванием (K_m – вычисленный коэффициент усиления модели объекта; T_m – вычисленная постоянная времени модели объекта; N_m – вычисленное время запаздывания модели объекта). Знание параметров объекта позволяет не только рассчитать оптимальные коэффициенты настроек регулятора разряжения, но и оценить изменение динамических свойств объекта. На рисунке 2 представлена модель блока идентификации объекта IDNT.

Для запуска идентификации входу REG присваивается значение 1. При этом на выход Q подается значение, заданное входом AMP (величина пробного импульса). Когда абсолютная величина разности текущего и начального значений выхода объекта (выходное значение объекта поступает на вход INP) превышает значение MAX (заданное условие снятия пробного импульса),

пробный импульс снимается ($Q=0$). Пробный импульс снимается также в том случае, если в течение 20 тактов пересчета величина выхода объекта остается неизменной.

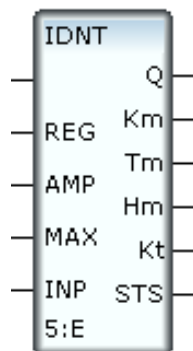
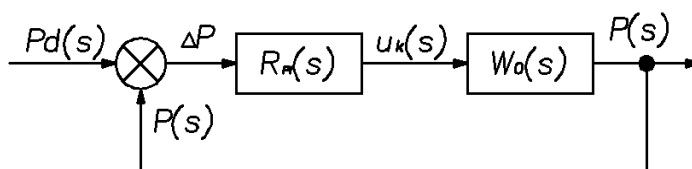


Рисунок 2 – Блок идентификации объекта IDNT

Блок адаптивного регулирования APID позволяет полностью автоматизировать процесс настройки автоматического регулятора разряжения. Критерием вычисления настроек является минимизация среднеквадратичной ошибки регулирования. Для настройки регулятора на вход объекта подается пробный гармонический сигнал. При этом амплитуда колебаний регулируемого параметра удерживается в пределах от 0.3% до 1%. Получаемые настройки минимизируют колебания при переходных процессах. Полученные оптимальные настройки PI - регулятора разряжения (K_P – коэффициент при пропорциональной составляющей; K_I – коэффициент при интегральной составляющей) позволяют регулировать разряжение в топке на заданном уровне.

Структурная схема автоматической системы регулирования разряжения в топке представлена на рисунке 3. Регулятор разряжения в топке $R(s)$ служит для стабилизации разряжения $P(s)$ на заданном уровне $P_d(s)$.



$P_d(s)=3070(\pm 5)$ Па – сигнал задания разряжения в топке;

$\Delta P(s)$ – сигнал ошибки;

$P(s)$ – текущее значения разряжения;

$u_k(s)$ – управляющий сигнал на объект управления $W_0(s)$ – механизм дымососа ;

$R(s) = K_{P_{opt}} + \frac{1}{K_{I_{opt}} \cdot s}$ - передаточная функция PI-регулятора с оптимальными настройками.

Рисунок 3 – Структурная схема автоматической системы регулирования разряжения в топке

В результате проведенных исследований в SCADATraceMode с помощью блоков IDNT, APID были получены оптимальные настройки регулятора разряжения: $K_{P_{opt}}=0,73$; $K_{I_{opt}}=2,4$.

SCADA-система TraceMode– программное обеспечение для построения систем сбора, анализа, визуализации данных и управления, работающее под управлением операционных систем Windows 95/98/NT. Специальная оболочка

для построения пользовательских приложений значительно сокращает время их разработки и максимально облегчает этот процесс. При этом нет необходимости написания программного кода, и весь процесс разработки сводится к «рисованию» системы на экране с последующей привязкой к физическим каналам ввода-вывода.

На рисунке 4 представлен графический интерфейс информационно-управляющей системы автоматизации механизма дымососа с трендом изменения разряжения в топке при изменении задания.

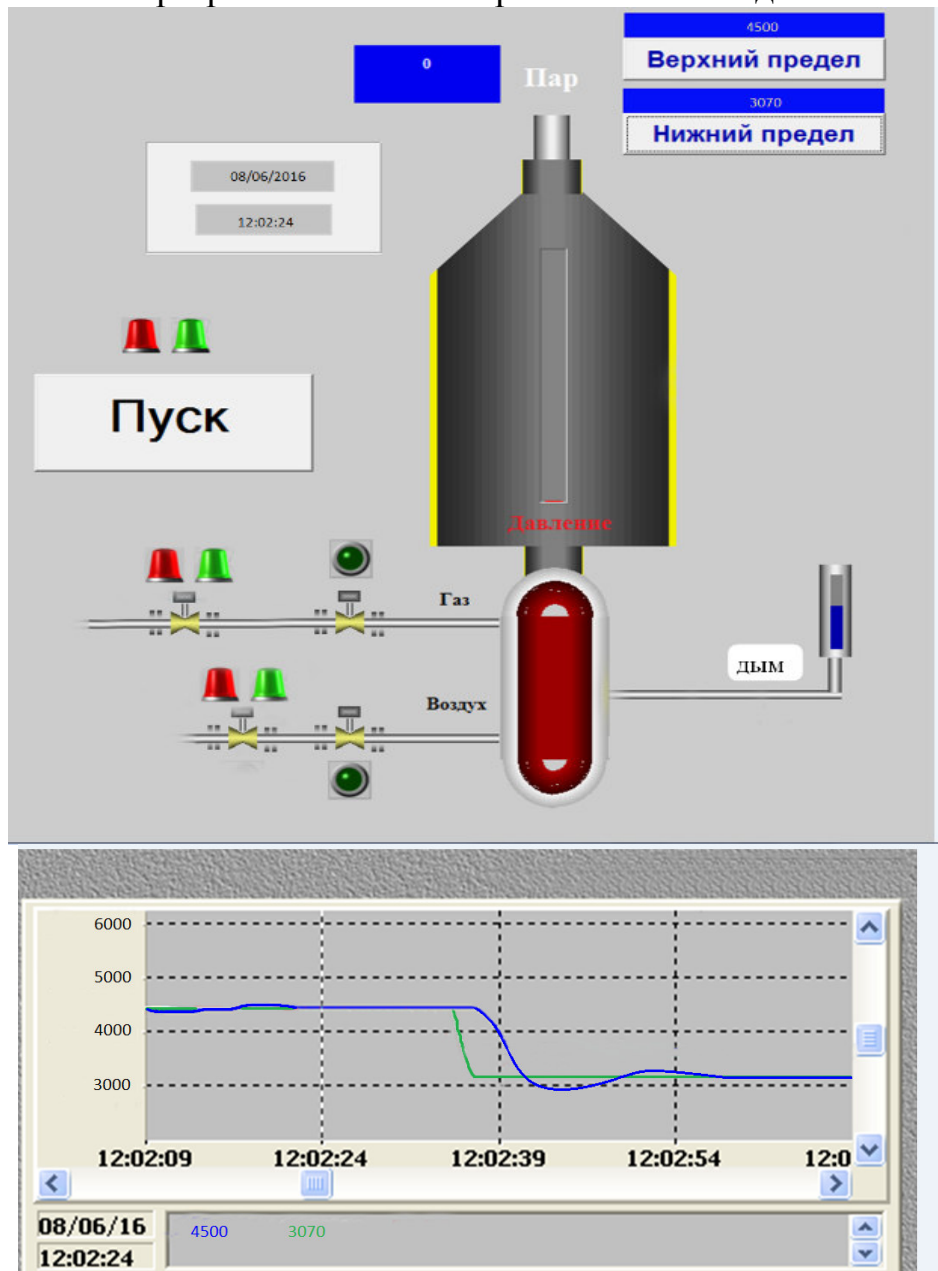


Рисунок 4 - Графический интерфейс информационно-управляющей системы автоматизации механизма дымососа

Разработанная информационно-управляющая система электрооборудования механизма дымососа парового котла обеспечит безопасную эксплуатацию дымососа за счет регулирования разряжения (давления) в топке.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТНОГО КРУГА ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Спроектированная система управления автоматизированным электро-приводом поворотного круга локомотивного депо г. Минска базируется на применение частотно-регулируемого электропривода и микропроцессорной системе управления.

Поворотный круг предназначен для разворота или поворота магистральных или маневровых тепловозов, электровозов, моторных вагонов, электро- и дизель- поездов при их въезде в боксы депо веерного типа или выезде из них.

Механизм имеет возможность поворота в горизонтальной плоскости на 360° вокруг центральной опоры, что позволяет установить локомотив в бокс в любом требуемом направлении. Стальная ферма поворотного круга представляет собой одну поперечную и две продольные балки на которой располагаются шпалы, рельсы и элементы крепления. Каждая концевая часть опирается на две ходовые тележки, ведущую и ведомую, которые опираются на круговой рельс. Привод движения ходовых тележек осуществляется двумя электродвигателями.

При проектировании системы управления были реализованы следующие требования к электроприводу и системе управления:

- режим работы S3;
 - плавный пуск и останов электропривода с заданным ускорением;
 - регулированием скорости;
 - ограничение параметров: момента и тока, допустимыми значениями в переходных процессах и при механических перегрузках;
 - высокая надежность;
 - простота наладки и эксплуатации;
 - невысокая стоимость и экономичность эксплуатации;
 - наличие реверса;
 - безопасность обслуживания.
- система управления должна обеспечивать автоматический и ручной способ управления;
- обеспечивать звуковую сигнализацию при пуске;
 - обеспечение световой индикацию поясняющую режим работы;
 - обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, чтобы скорость почти не зависела от веса груза;
 - ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов;
 - обеспечение работы электропривода как в двигательном, так и в тормозном режимах;

- наличие конечных выключателей для автоматической остановки электропривода в необходимых положениях;
- предотвращение самозапуска двигателей при восстановлении напряжения после перерыва в электроснабжении;

В целях энергосбережения и экономичного использования ресурсов был проведен расчет мощности электродвигателей.

Мощность двигателей необходимая для привода передвижения рассчитывается по формуле [2]:

$$P_c = \frac{F_{пер} \cdot V_{пер}}{1000 \cdot \eta}, \quad (1.2)$$

где $F_{пер}$ – общее сопротивление передвижению от статических нагрузок, Н;

$V_{пер}$ – номинальная скорость передвижения, м/с;

η – КПД механизма.

Общее сопротивление передвижению от статических нагрузок [2]:

$$F_{пер} = F_{тр} + F_{укл} + F_{в}, \quad (1.3)$$

где $F_{тр}$ – сопротивление трения, Н;

$F_{укл}$ – сопротивление от уклона пути, Н;

$F_{в}$ – сопротивление от ветровой нагрузки, Н.

Сопротивление трения [2]:

$$F_{тр} = k_p \cdot (m + Q) \cdot g \cdot \frac{(f \cdot d_k + 2 \cdot \mu)}{D_k}, \quad (1.4)$$

где m – масса поворотного круга, $m = 70000$ кг;

Q – грузоподъемность поворотного круга, $Q = 300000$ кг;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

d_k – средний диаметр цапфы, $d_k = 0,2$ м;

k_p – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд ходовых колес и торцов ступиц колеса, $k_p = 2,5$;

μ – коэффициент трения ходовых колес по рельсам, $\mu = 0,0012$;

f – коэффициент трения в подшипниках опор вала ходового колеса, $f = 0,0006$ м;

D_k – диаметр ходового колеса, $D_k = 900$ мм.

$$F_{тр} = 2,5 \cdot (70000 + 300000) \cdot 9,81 \cdot \frac{(0,015 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,0012)}{0,9} = 54445 \text{ Н}.$$

Сопротивление от уклона пути [2]:

$$F_{\text{укл}} = (m + Q) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (1.5)$$

где α – угол наклона пути;

$\sin \alpha$ – уклон пути, $\sin \alpha = 0.003$.

$$F_{\text{укл}} = (70000 + 300000) \cdot 9,81 \cdot 0,003 = 10889 \text{ Н}.$$

Ветровая нагрузка [2]:

$$F_B = F_{\kappa} \cdot F_z, \quad (1.6)$$

где F_{κ} – ветровая нагрузка на конструкцию, Н;

F_z – ветровая нагрузка на груз, Н.

Ветровая нагрузка на конструкцию [2]:

$$F_{\kappa} = \rho \cdot A_{\kappa}, \quad (1.7)$$

где ρ – распределенная ветровая нагрузка на единицу расчетной площади элемента конструкции, Па;

A_{κ} – расчетная площадь элемента конструкции, м^2 .

Распределенная ветровая нагрузка [2]:

$$\rho = q \cdot k \cdot c \cdot n, \quad (1.8)$$

где q – динамическое давление ветра, $q = 125$ Па;

k – коэффициент, учитывающий изменение динамического давления на высоте 10м над поверхностью земли, $k = 1$;

c – коэффициент аэродинамической силы, $c = 1,8$;

n – коэффициент перегрузки, $n = 0,7$.

$$\rho = 125 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 157,5 \text{ Па}.$$

Площадь элемента конструкции:

$$A_{\kappa} = A \cdot k_{\text{спл}}, \quad (1.9)$$

где A – габаритная площадь элемента конструкции, $A = 138,6 \text{ м}^2$;

$k_{\text{спл}}$ – коэффициент сплошности, $k_{\text{спл}} = 0,8$.

$$A_{\kappa} = 138,6 \cdot 0,8 = 110,88 \text{ м}^2.$$

По полученным данным ветровая нагрузка на конструкцию согласно формуле (1.7):

$$F_{\kappa} = 157,5 \cdot 110,88 = 17463 \text{ Н}.$$

Ветровая нагрузка на груз:

$$F_z = \rho \cdot A_z, \quad (1.10)$$

где A_z – расчетная площадь груза, $A_z = 72 \text{ м}^2$.

Распределенная ветровая нагрузка:

$$\rho = q \cdot k \cdot c \cdot n,$$

где c – коэффициент аэродинамической силы, $c = 1,2$.

$$\rho = 125 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,7 = 105 \text{ Па}.$$

По полученным данным ветровая нагрузка на груз согласно формуле (1.10):

$$F_z = 105 \cdot 72 = 7560 \text{ Н.}$$

Полная ветровая нагрузка согласно формуле (1.6):

$$F_{\phi} = 17465 + 7560 = 25023 \text{ Н.}$$

Общее сопротивление передвижению от статических нагрузок согласно формуле (1.3):

$$F_{\text{пер}} = 54445 + 10889 + 25023 = 90357 \text{ Н.}$$

Статическая мощность электродвигателя согласно формуле (1.2):

$$P_c = \frac{90357 \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,85} = 37,2 \text{ кВт.}$$

Так как привод механизма поворотного круга отдельный, двухдвигательный, то мощность одного двигателя определяется по формуле:

$$P = 0,5 \cdot P_c = 0,5 \cdot 37,2 = 18,6 \text{ кВт.} \quad (1.11)$$

С учетом коэффициента запаса по мощности, расчетная потребная мощность электродвигателя составит:

$$P_{\text{расч}} = K_z \cdot P = 1,15 \cdot 18,6 = 21,4 \text{ кВт.} \quad (1.12)$$

где: K_z – рекомендованный коэффициент запаса ($K_z=1.1-1.2$).

По результатам расчетов мощности выбран трехфазный асинхронный электродвигатель МТКН 412-8, номинальная мощность: $P_{\text{ном}}=22 \text{ кВт}$.

Для обеспечения режимов работы выбран преобразователь частоты Omron CIMR-E7Z4030 на максимальную выходную мощность двигателя: 30 кВт.

Система управления автоматизированным электроприводом базируется на промышленный контроллере CJ2M (Omron).

Подключение к контроллеру возможно через встроенный порт USB или предоставляемые на выбор порт Ethernet/последовательный порт RS-232C/422/485.

Для проведения исследований режимов работы автоматизированного электропривода поворотного круга была разработана компьютерная модель в среде визуального моделирования Simulink в системе компьютерной математики MATLAB 7.0. Для повышения наглядности и удобства отладки модель электропривода поворотного круга представлена на рисунке 1.

Полученные результаты моделирования показали, что электропривод в полном объеме выполняет требования, которые к нему предъявлялись: в установившемся режиме обеспечивает требуемую жесткость механических характеристик; в режиме пуска и в момент перехода на пониженную скорость значения пусковых тока и момента являются допустимыми для выбранного электродвигателя.

Система автоматизированного электропривода позволяет рационально расходовать энергоресурсы и повышает срок службы отдельных элементов. За счет применения частотно-регулируемого электропривода осуществляется экономия электроэнергии по сравнению с аналогичными установками.

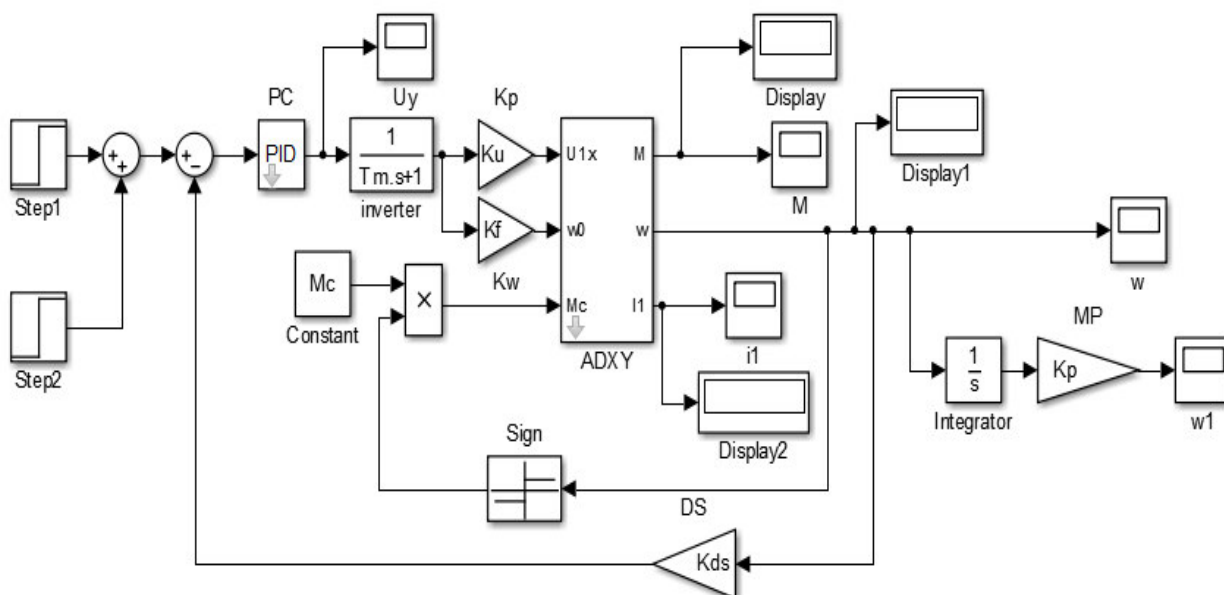


Рисунок 1– Модель электропривода поворотного круга в среде Simulink

В режиме энергосбережения, если двигатель работает с небольшой нагрузкой, преобразователь автоматически определяет величину потребляемого тока двигателя, подключенного к нему, оценивает его нагрузку и понижает выходное напряжение, таким образом эффективно сокращая потребляемую двигателем мощность. При понижении питающего напряжения скорость вращения ротора двигателя остается постоянной.

Для наиболее эффективного уменьшения потребляемой мощности в режиме энергосберегающей работы, используется функция автоматической настройки. Ориентировочная оценка экономии электроэнергии составляет 5-45 %. В проекте экономия электроэнергии достигается за счет следующих решений:

- использования преобразователя частоты для пуска асинхронного электродвигателя дает экономия до 50 % электроэнергии за время пуска;
- расчета оптимального маршрута движения круга, что позволяет минимизировать время работы электропривода;
- автоматизации останова электропривода за счет точного позиционирования, исключающего реверс или доводку привода при первоначальной неточной остановке;
- исключение ошибок персонала, приводящего к повторному запуску электропривода.

Косвенным фактором является повышение производительности поворотного круга, что сокращает время работы двигателя локомотива.

А.В. Чупова, студ.; В.А. Галковский, к.т.н., доц.;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Деаэрация воды используется в качестве базисного способа защиты от коррозии на различных объектах теплоэнергетики. Возрастающий объем стро-

ительства КЭС и ТЭЦ значительной мощности, а также развитие сферы применения деаэрации воды в котельных, является следствием резкого увеличения необходимости в деаэрационном оборудовании. Все сильнее нарастает спрос к качеству питательной воды паровых котлоагрегатов всех параметров и видов [1].

Причиной нахождения растворенных (абсорбированных) газов в воде являются дренажи, добавочная и подпиточная вода и азрированные конденсаты. Для деаэрации воды применяются деаэраторы атмосферного типа и вакуумные деаэрационные установки.

Абсолютное очищение воды от растворенных в ней газов нереально. Для глубокой деаэрации воды надлежит пользоваться паром с возможно меньшим содержанием в нем самом воздуха. По прошествии декарбонизаторов, содержание в воде коррозионно-активных газов не должно превышать установленных величин.

В деаэраторах из-за недостаточности поверхности контакта фаз, а следовательно и времени контакта воды с паром равновесное состояние, обыкновенно, не осуществляется. Но имеется возможность к нему приблизиться посредством увеличения поверхности соприкосновения пара и воды.

Поверхность контакта воды и пара увеличивают путем тонкого разделения воды на струйки, капельки и пленки или пропуска пара в виде мелких пузырьков через слой деаэрируемой воды (барботаж) [2].

Вследствие этого были разработаны руководящие указания по проектированию термических деаэрационных установок, базирующихся на данных новейших исследований и обобщении набранного опыта проектирования и эксплуатации этих установок. Основное содержание РУ представлено в прилагаемом списке литературы [3].

Воспользовавшись руководящими указаниями и представленным в нем алгоритмом расчета термических деаэрационных аппаратов, была поставлена цель провести сравнительную характеристику атмосферного и вакуумного струйно-барботажных деаэраторов с одинаковой производительностью 100 т/ч деаэрируемой воды в зависимости от различных параметров греющего пара: $t_{\text{п}}=104^{\circ}\text{C}$ при $P_{\text{п}}=1,2$ ат.; $t_{\text{п}}=120^{\circ}\text{C}$ при $P_{\text{п}}=2$ ат.; $t_{\text{п}}=150^{\circ}\text{C}$ при $P_{\text{п}}=4$ ат.; $t_{\text{п}}=170^{\circ}\text{C}$ при $P_{\text{п}}=8$ ат. Такой деаэратор имеет 2 ступени деаэрации воды - струйную и барботажную, что позволяет наиболее полно удалять из воды газы.

Основные расчетные формулы

Тепловой баланс деаэратора предназначен для определения общего расхода пара, идущего на установку. Обобщенный вид уравнения теплового баланса выглядит как равенство потоков теплоты, поступающих в деаэратор и выходящих из него:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7, \quad (1)$$

где Q_1 — теплота основного потока греющего пара; Q_2 — количество тепла с некипящими потоками воды; Q_3 — количество тепла с кипящими потоками воды;

Q_4 — с прочими потоками пара; Q_5 — отведенное с деаэрированной водой; Q_6 — тепло от выпара; Q_7 — потери в окружающую среду.

Нужная площадь барботажного листа для удаляемого газа находится из уравнения массопередачи:

$$G_{\Gamma} = K \cdot \Delta C_{cp} \cdot \rho_v \cdot F \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где G_{Γ} — расход удаляемого газа, кг/ч; K — коэффициент массопередачи, м/ч; ΔC_{cp} — концентрационный напор газа на барботажном листе, кг/м³; ρ_v — плотность воды на барботажном листе, кг/м³; F — площадь листа, м².

Величина удаляемого агрессивного газа определяется исходя из расхода воды на входе в барботажное устройство ($G_{и.в} + G'_{п}$), т/ч, и разности начальной C_n и конечной C_k , мг/кг, концентраций этого газа на барботажном листе:

$$G_{\Gamma} = (G_{и.в} + G'_{п})(C_n - C_k) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

Действительное значение рабочей площади барботажного листа F_p , м², должно выбираться исходя из конструктивных соображений.

Расход пара $G_{пер}$, т/ч, отводимого в пароперепускные трубы, определяется как разность расхода пара в горловине перепускной тарелки расхода пара, идущего на барботаж:

$$G_{пер} = G_n^{zop} + G_{п.б}, \quad (4)$$

Характерные параметры, по которым осуществлялось сравнение:

- Фактическая рабочая площадь барботажного листа F_p , м², в зависимости от нагрузки;
- Расход пара через барботажный лист $G_{б.л.}$, т/ч, в зависимости от нагрузки.

В результате расчета были получены зависимости, представленные на рисунках 1÷4.

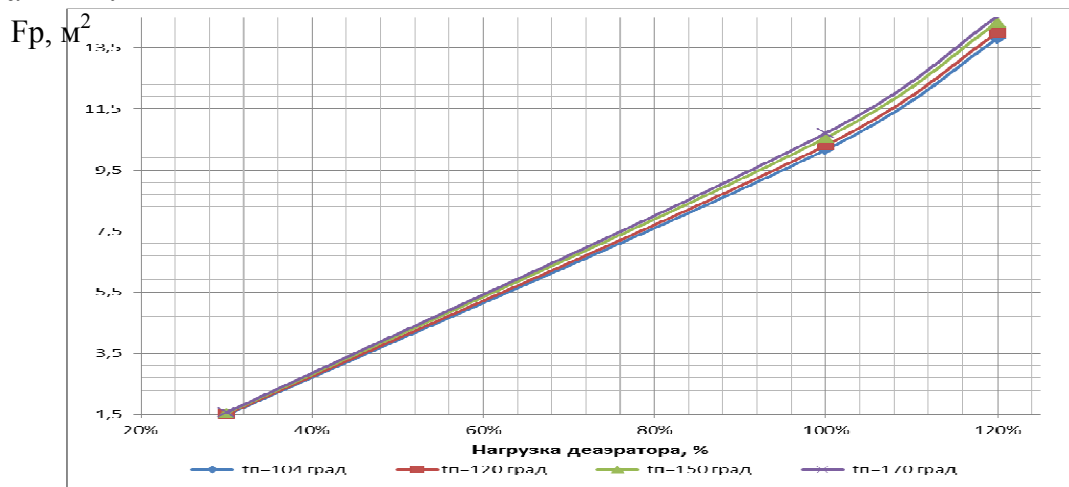


Рисунок 1 - Зависимость площади барботажного листа вакуумного деаэратора (при различных параметрах греющего пара) от нагрузки.

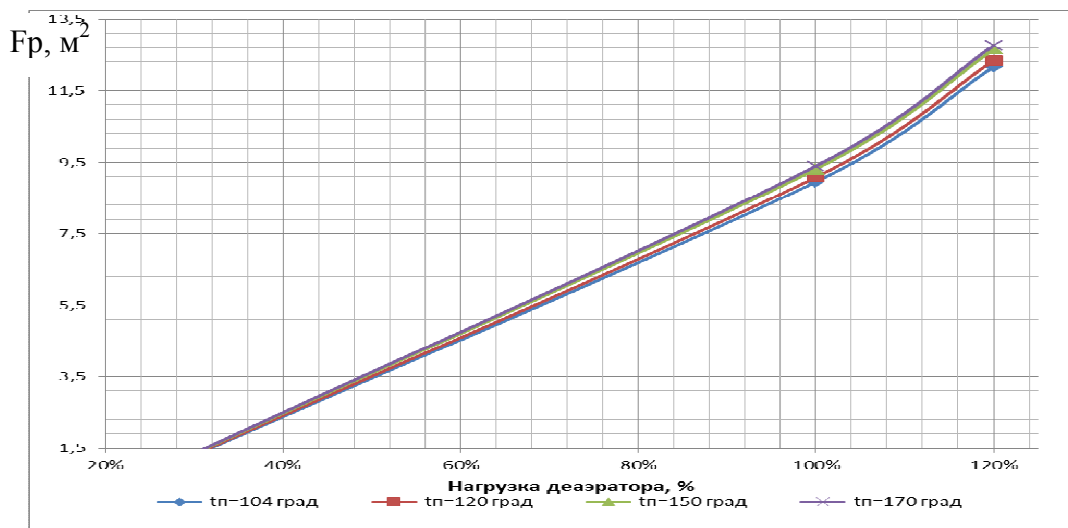


Рисунок 2 - Зависимость площади барботажного листа атмосферного деаэратора (при различных параметрах греющего пара) от нагрузки.

Из графиков на рисунках 1,2 видно следующее:

1. С увеличением параметров греющего пара происходит увеличение площади барботажного листа как у обоих деаэраторов, а следовательно увеличиваются габариты деаэрационной установки. Причем чем выше параметры пара, тем больше площадь.
2. Атмосферный деаэратор при таких же параметрах греющего пара, как и у вакуумного, имеет меньшую площадь барботажного листа, что является его преимуществом, поскольку габариты установки в этом случае будут меньше.

Так как деаэраторы осуществляют необходимую очистку воды от газов, то нет необходимости использовать пар более высоких параметров для этой цели.

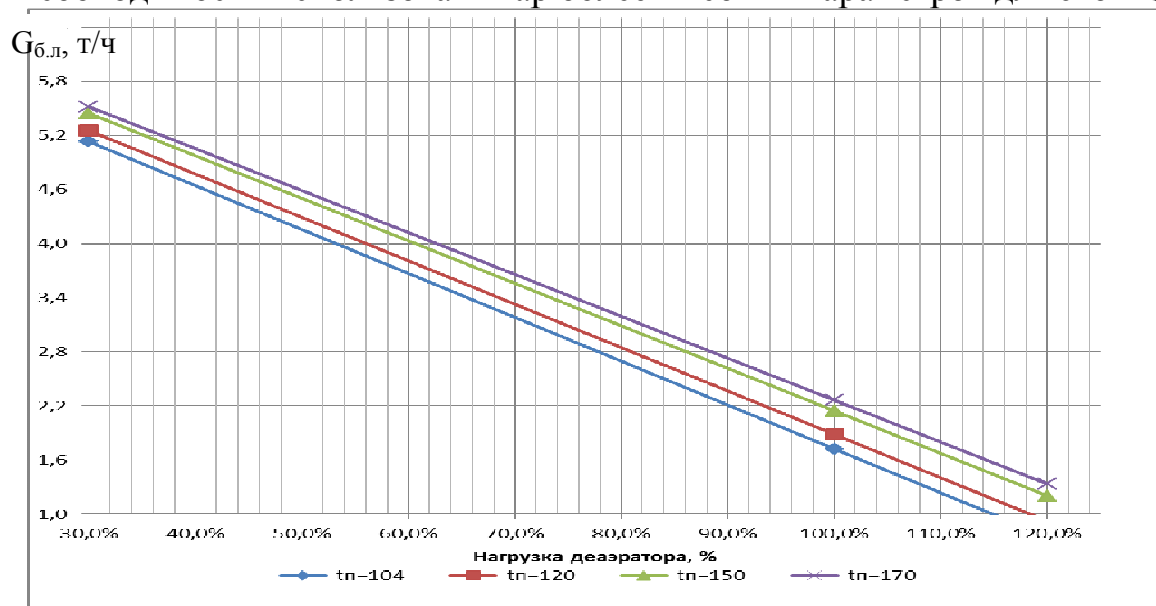


Рисунок 3 - Зависимость расхода пара через барботажный лист атмосферного деаэратора (при различных параметрах греющего пара) от нагрузки.

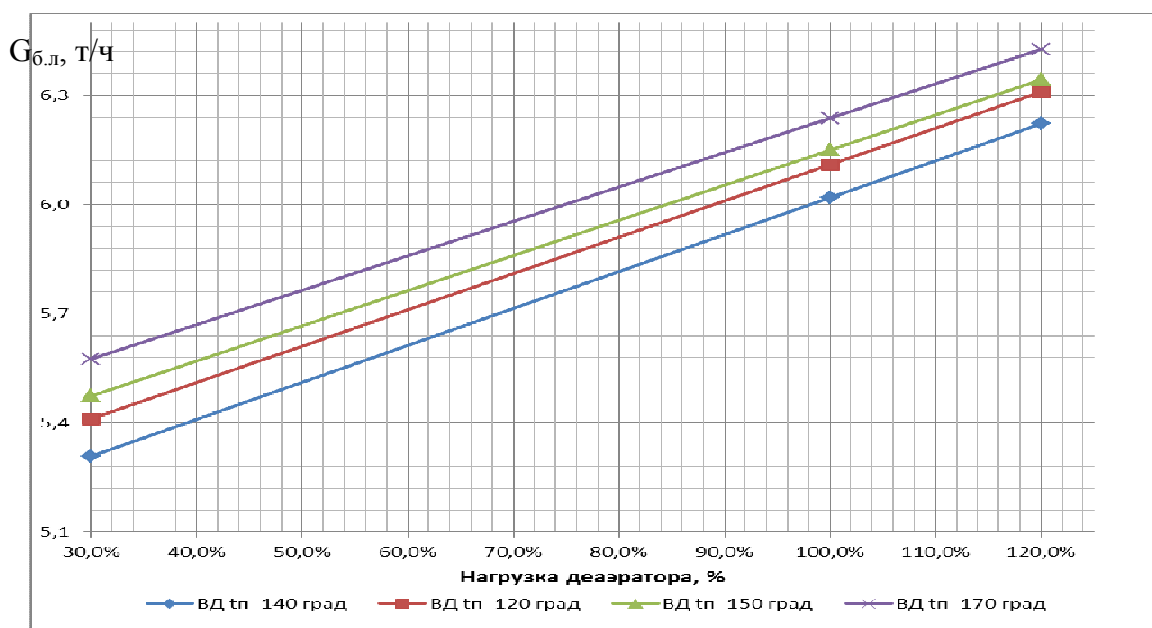


Рисунок 4 - Зависимость расхода пара через барботажный лист вакуумного деаэратора (при различных параметрах греющего пара) от нагрузки.

Из графиков на рисунках 3,4 видно следующее:

1. Чем выше параметры греющего пара, тем больше расхода пара через барботажный лист, что наблюдается у обоих деаэраторов.
2. У вакуумного деаэратора с увеличением нагрузки расход пара через барботажный лист растет. Это говорит о том, что большая часть воды проходит деаэрацию второй ступенью - барботажем. У атмосферного наоборот, большая часть пара проходит деаэрацию первой ступенью за счет разделения воды на струи.

В заключение можно сделать вывод о том, что оба типа деаэраторов выполняют свои функции по удалению агрессивных газов из воды. Но атмосферные деаэраторы имеют меньшие габариты при использовании пара в качестве греющего теплоносителя, что позволяет использовать их в небольших котельных. Однако на большинстве небольших источников теплоты нет возможности использовать пар и в качестве греющего теплоносителя выступает перегретая вода. При использовании такого вида греющего агента атмосферные деаэраторы, по конструктивным соображениям, имеют гораздо большие габариты, чем вакуумные и атмосферные деаэраторы, использующие перегретый пар.

Литература

1. ГОСТ16860–88*. Деаэраторы термические. Типы, основные параметры, приемка, методы контроля. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
2. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство», А.Н. Хуторной.-Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003.- 161 с. : ил. ISBN 5-93057-118-X.
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е. Я. Соколов. 7-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Нарост накипи на теплообменном оборудовании является важной проблемой у большинства отраслей промышленности, жилищно-коммунального сектора и других областей хозяйственной деятельности.

В качестве теплоносителя используется сырая водопроводная вода. Перед тем как воду нагреть и отправить к источникам потребления, ее нужно подготовить. Подготовка заключается в умягчении и удалении газов, очистке от механических примесей. Один из способов умягчения воды — катионирование, это замещение ионов магния, кальция (ионы жесткости) ионами водорода или натрия. Далее идет процесс деаэрации воды, это процесс удаления из воды коррозионно опасных, вредных газов: кислорода и углекислого газа. Если в воде присутствует кислород и углекислый газ, в большом количестве, то при нагреве скорость коррозии значительно возрастает. Самая частая причина возникновения аварий — коррозия в теплоснабжении. После прохождения через деаэрационную колонку вода скапливается в аккумуляторном баке деаэратора, откуда подается на подпиточные насосы, которые в свою очередь закачивают ее в тепловую сеть для восполнения потерь или заполнения пустых участков [1].

На главных магистральных сетях есть ответвления или врезки, т.е. вводы на квартала. Подготовленная вода заходит в квартал и, в зависимости от схемы теплоснабжения, поступает напрямую потребителям (зависимая схема теплоснабжения) или в тепловые пункты (независимая схема). По зависимой схеме, перед поступлением к потребителям теплоноситель проходит через теплообменник, происходит передача тепла для нужд отопления и горячего водоснабжения и после подогрева в центральном тепловом пункте (ЦТП) вода по распределительным сетям подается в дома [1].

Главную работу в обеспечении потребителей тепловой энергией играют теплообменные аппараты. Качество их работы и будет показывать правильность работы систем теплоснабжения в целом, не до отпусков теплоты, перерасход топлива и энергии для восполнения тепловых потерь и причины повышения температурного напора теплоносителя.

Установленные на ЦТП теплообменные аппараты обеспечивают потребителей необходимой тепловой энергией на отопление и ГВС (горячее водоснабжение), но как говорилось ранее, при некачественной водоподготовке на теплообменном оборудовании со временем будут образовываться слои накипи, отложения, ведущие в свою очередь к коррозии на поверхностях оборудования.

Технологии водоподготовки, существующие в настоящее время, обладают целым рядом недостатков, не позволяющих однозначно рекомендовать тот или иной метод для повсеместного применения.

Определяясь с методами борьбы от накипи, необходимо предварительно сделать анализ накипи и определить ее состав, чтобы узнать, чем лучше такой налет растворять. Потом определяется сложность оборудования, степень его

загрязненности. От всех этих факторов зависит, чем и как будут удалять накипь.

Помимо очистки теплообменного оборудования уже от образовавшейся накипи, есть возможность предотвратить ее быстрое образование на том или ином оборудовании, для этого используют всевозможные фильтры. Например фильтр умягчения работает по принципу ионного обмена, предназначен для снижения жесткости воды, удаления нитратов, органики или других загрязнений. Умягченная вода значительно продлевает срок службы бытовой техники и инженерных коммуникаций, предотвращает появление известковых отложений, коррозии и ржавчины на металлических деталях, повышает эффективность водонагревательных приборов, уменьшает расход моющих средств.

В теплоснабжении в основном все процессы протекают при низких температурах (80-90°C). Низкотемпературные накипи состоят, в основном, из карбонатов и продуктов коррозии (преимущественно оксидов железа).

В данной научной работе можно привести выводы исследования влияния качества воды на теплообменное оборудование, состояние которого в свою очередь влияет на обеспечение потребителей теплоносителем заданных параметров, т.е. влияния толщины слоя образующейся накипи на коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата от греющей воды нагреваемой, которая транспортируется потребителям [3].

По собственным результатам расчета водоподогревательных установок по двухпоточной схеме компоновки ступеней, для систем горячего водоснабжения ЦТП, оборудованного водоподогревателями, состоящих из секций кожухотрубного типа, в первом случае и пластинчатой водоподогревательной установки во втором случае, приведем следующие графические зависимости, отображающие влияние качества воды на теплопередающие и гидродинамические характеристики теплообменного оборудования:

1. Зависимость коэффициента теплопередачи от толщины слоя карбонатной накипи, с коэффициент теплопроводности $\lambda = 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ см. рисунок 1, как для пластинчатого (ПТО), так и для кожухотрубчатого теплообменников (КТО) [3].

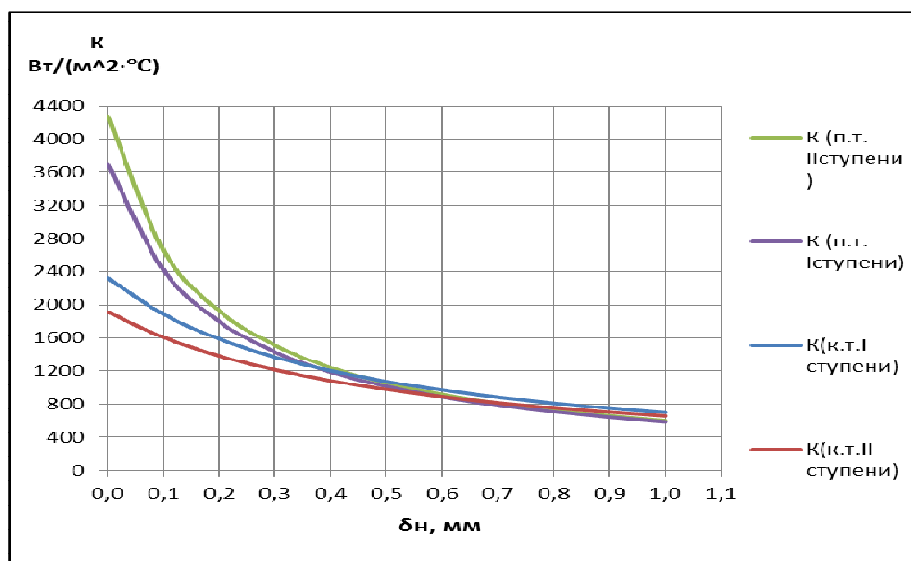


Рисунок 1. — Зависимости коэффициента теплопередачи КТО и ПТО от толщины слоя накипи, где $K(\text{к.т.})$ - коэффициент теплопередачи соответственно I и II ступеней, $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

По графикам видно, что коэффициент теплопередачи у пластинчатого теплообменника почти в 2 раза выше, чем у кожухотрубчатого, это связано с конструктивными особенностями установок. Толщина слоя накипи в 1 мм, в обоих случаях, приводит к снижению коэффициента теплопередачи в 2 раза у кожухотрубчатого теплообменного аппарата, и в 2,5 раза у пластинчатого теплообменного аппарата, что в свою очередь ведет отпуску теплоносителя более низких параметров. Также можно отметить, если рассмотреть график пластинчатого теплообменного аппарата, нарост слоя накипи всего на 0,4 мм приводит к снижению коэффициента теплопередачи установки в 2 раза. Дальнейший рост толщины слоя накипи приводит к установившемуся в низком диапазоне, коэффициенту теплопередачи (как видно из графиков), в результате чего происходит перерасход топлива и энергии для повышения теплоносителя до требуемых параметров.

Не менее важной проблемой является изменение температурного напора, вследствие изменения коэффициента теплопередачи. Температурный напор из уравнения теплопередачи равен:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{Q}{k \cdot F'}$$

где Q — тепловая нагрузка теплообменник Вт;

F' — поверхность нагрева водонагревателя, м^2 ;

k — коэффициент теплопередачи соответственно I и II ступеней, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Тепловая нагрузка и поверхность нагрева водонагревателя изменяться не могут, если нет развития сети системы теплоснабжения данного района, в результате чего происходит увеличение температурного напора и как следствие – недогрев нагреваемого теплоносителя. Из собственных расчетов также можно привести графические зависимости изменения температурного напора от толщины слоя накипи для каждой ступени на теплообменном оборудовании, для карбонатной накипи зависимости изображены см. рис. 2.

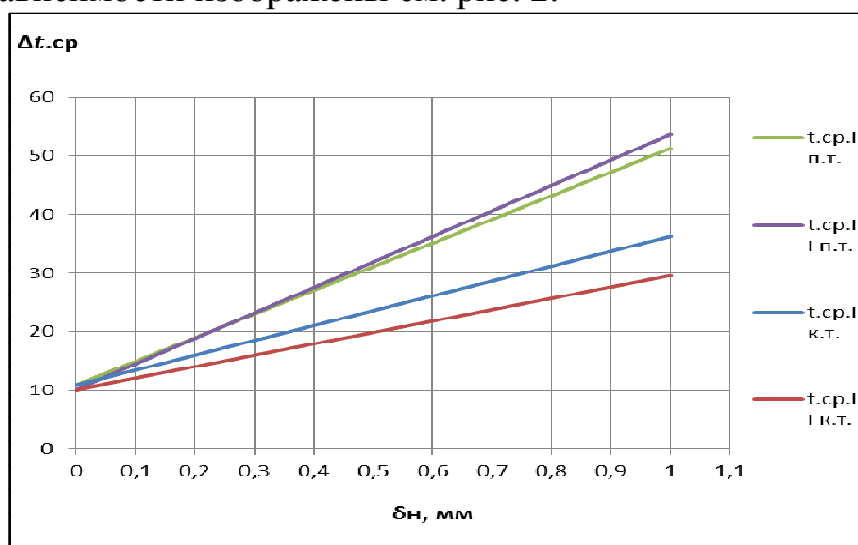


Рисунок 2 - Зависимости температурного напора КТО и ПТО от толщины слоя накипи, где $t_{\text{ср.I}}$, $t_{\text{ср.II}}$ — температурный напор первой и второй ступени теплообменника, $^\circ\text{C}$.

Накипь приводит к снижению срока службы оборудования. Слой накипи не только препятствует нагреву воды, но он одновременно затрудняет отвод тепла от нагревательного элемента или от поверхностей нагрева котлов. В результате нагревательный элемент перегревается и выходит из строя.

Из технологий водоподготовки и способов умягчения воды наиболее эффективным, на данном этапе исследования, является магнитная обработка воды или с использованием электромагнитных аппаратов, так как они отличаются безопасностью, надежностью работы при стабильных параметрах воды, низкими эксплуатационными расходами и экологичностью. Но в свою очередь применение электромагнитных аппаратов требует химводоподготовки, а это введет к увеличению площади, занимаемой под теплообменное оборудование, за счет добавления места под блок химводоочистки. Умягчение воды для теплообменного оборудования, применяемого в быту или на частных мелких объектах может проводиться за счет фильтров умягчения и безреагентного обезжелезивания воды.

Термическое сопротивление отложения снижает значение полного коэффициента теплопередачи, это наглядно видно на рисунке 1. Таким образом, для передачи одной и той же тепловой нагрузки потребуется большая площадь поверхности теплообмена. В большинстве случаев увеличение площади поверхности теплообмена невозможно, как и невозможно увеличение теплового потока на отопление и горячее водоснабжение. Происходит недоотпуск теплоты, для минимизации его происходит увеличение расхода теплоносителя, что в свою очередь приводит к увеличению расхода топлива и электроэнергии на его перекачку и перегрев. Все эти мероприятия приводят к удорожанию как самого теплоносителя, так оказание услуг по подаче и распределению тепловой энергии. Не своевременная очистка теплообменных аппаратов и плохая химводоподготовка приводит к возрастанию гидродинамического сопротивления как в теплопроводах, так и в самих аппаратах, что приводит к преждевременному износу теплообменного оборудования, выходу его из строя, поломкам и более часто прибегать к услугам по очистке теплообменного оборудования от отложений.

Литература

1. АкваЩит – Электромагнитные преобразователи накипи. Удаление накипи//ГЕНЕРАЦИЯ, Научно-производственный институт. [Электронный ресурс] URL: <http://ot-nakipi.ru/article/ochistka-ot-nakipi-teploobmennikov> (дата обращения: 14.03.2016).
2. Официальное издание - Своды правил по проектированию и строительству СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.
3. Проектирование централизованного горячего водоснабжения жилого дома и микрорайона: учеб. Пособие / Т.А. Стрелюхина. – 3-е изд., перераб. и доп; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 120 с.

СЕКЦИЯ 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*В.В. Амяга, студ., Л.В. Гадасина, к.ф.-м.н., доц.
(СПбГУ, г. Санкт-Петербург)*

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ SMART DATA В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Количество информации, которую приходится анализировать компаниям для успешной деятельности, с каждым годом интенсивно растет. Такие потоки становятся все труднее обрабатывать и хранить. Попытки решить эти проблемы привели к развитию концепции Big Data, характеризующейся четырьмя аспектами: объемом данных (data volume), скоростью (data velocity), достоверностью (data veracity), ценностью (data value); параллельно стали развиваться специальные методы и подходы работы с такими данными.

Однако в настоящее время многие компании всерьез задумались об изменении концепции, стремясь не придумать новые методы обработки данных, а сделать сами данные более осознанными и разумными. Одним из подходов, реализующих данную идею, является концепция Smart Data.

Smart Data ориентирована прежде всего на качественные аспекты, которые включают в себя достоверность и ценность, определяющие полезность информации, используемой при принятии управленческих решений.

Информация из внешнего мира поступает из различных источников в структурированном и неструктурированном виде. В реальной жизни большинство данных содержат в себе информационный шум и зачастую не несут никакой пользы для компаний. Бизнес задает вопросы: если машинные алгоритмы способны дать рекомендации по продукту используя небольшие объемы данных, зачем идти по пути Big Data? [1]

Вследствие этого концепция Smart Data предлагает отбрасывание информационного шума и сохранение ценной информации, которая может быть в дальнейшем использована компаниями для решения проблем бизнеса.

Smart Data означает информацию, которая на самом деле имеет смысл. Это разница между длинным списком чисел, относящихся к недельным продажам по сравнению с выявлением пиков и впадин в течение долгого времени с помощью методов визуализации. Интеллектуальные алгоритмы способны превращать бессмысленные цифры в легко интерпретируемую визуальную информацию. Сбор большого количества данных приносит мало пользы без дополнительного интеллектуального слоя.

Это налагает определенные требования, предполагающие, что интерпретация данных не должна быть случайной. Сбор и использование данных имеет смысл только, когда это необходимо для оптимизации и

¹ <http://www.information-age.com/big-data-dead-rise-smart-data-123458486/>

автоматизации процессов и решении проблем. Главная идея заключается не в бездумном сборе огромных массивов возможной информации, а в сборе каждого набора данных в рамках определённого контекста. Данные должны быть понятны и интерпретированы в рамках определённой ситуации [2].

Это означает, что компания должна иметь структуру, позволяющую проводить первичный отбор данных. Современные тенденции вынуждают компании более тщательно относиться к выбору стратегий управления данными, что проявляется в постоянном реагировании на изменяющиеся условия рынка. Исходя из данных потребностей, можно говорить о том, что любое изменение должно отвечать требованиям бизнеса и способствовать реализации целей компании. Поэтому закономерным ответом на современные вызовы является учреждение в компаниях должности директора по данным (CDO-Chief Data Officer).

Следует отметить, что для того, чтобы отвечать потребностям бизнеса, а также реализовывать успешные бизнес-практики предполагается, что данную должность должен занимать человек не из ИТ подразделения, а из высшего звена управления компании. Следовательно, в компаниях всё чаще встаёт вопрос не о том, как собрать данные, а о том, зачем это нужно и для каких целей это использовать.

В современных условиях всё чаще компании используют огромный потенциал цифрового бизнеса, что проявляется в увеличении потребности качественного управления корпоративной информацией, а также в возрастании роли аналитики в операционной деятельности [3]. Поэтому введение должности CDO является закономерным результатом развития компании и направлено на реализацию множества возможностей, возникающих в результате сбора информации в масштабах бизнеса.

С бурным ростом информационного потока важнейшей задачей, которую призван решать CDO, становится поиск и использование только необходимой информации, способной добавить ценность бизнесу, увеличить производительность или способствовать более качественному риск-менеджменту. Только специалист такого уровня способен в полной мере разобраться в потребностях компании с точки зрения использования данных и провести работу по переходу от концепции Big Data к Smart Data.

Однако многие CDO отмечают, что существует высокий уровень сопротивления изменениям со стороны ИТ-отделов, а также постоянная борьба за контроль над информационными ресурсами и их управлением. Поэтому при внедрении данной должности необходимо также учитывать и этот аспект.

По оценкам Gartner, к 2020 году 25 миллиардов устройств будут генерировать данные почти о каждой теме, которую только можно себе представить. Это одновременно и возможность, и вызов для компаний. Огромное количество информации возможно будет обработать только с помощью новых методов и концепций, о которых раньше никто не

² <https://www.wired.com/insights/2013/04/big-data-fast-data-smart-data/>

³ <http://www.gartner.com/newsroom/id/3190117>

задумывался. Только те компании, которые смогут обуздать мощь возрастающей приливной волны информационного потока, опередят своих конкурентов. На наш взгляд, концепция Smart Data как раз идеально и подходит для решения данной задачи.

Список источников

1. Information Age [Электронный ресурс]: URL: <http://www.information-age.com/> (Дата обращения: 02.10.2016)
2. Wired [Электронный ресурс]: URL: <http://www.wired.com/> (Дата обращения: 02.10.2016)
3. Gartner [Электронный ресурс]: URL: <http://www.gartner.com/> (Дата обращения: 02.10.2016)

*Ю.Н. Арличенкова, студ.; Е.А. Панкратова, к.т.н., доц.; В.С. Луферов, асп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДЫ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ NGINX

Разработка web-проекта не имеет будущего без тщательного планирования функционирования составляющих его компонентов. Опытные разработчики при создании проекта сталкиваются с проблемой возрастающей нагрузки на один web-сервер. Не приняв во внимание такой факт, работа нескольких месяцев при резком возрастании нагрузки подвергается риску прийти в упадок в связи с отказом. Отказ работы одного или нескольких серверов может повлечь за собой материальный вред, отток клиентов и т.д.

Для того, чтобы решить проблемы распределения нагрузки, а также отказоустойчивости системы, необходимо, в первую очередь, оптимизировать программный код, очередность запросов к СУБД с помощью функции Explain, уменьшить время их выполнения и т.д. Однако, в конечном итоге, такой способ оптимизации иссякнет и при возрастании нагрузок будет недостаточно одного сервера. Существование такого web-проекта будет недолгим.

Для обеспечения балансировки нагрузки, для уменьшения вероятности отказоустойчивости и времени ответа, зачастую прибегают к масштабированию web-приложения по следующему способу: объединяют нескольких серверов в один кластер. Число серверов, входящих в такую систему, возрастает с масштабом разрабатываемого web-проекта и с ростом нагрузки. На рисунке три приведён пример распределенного web-приложения с минимальным числом серверов.

Эффективность такого метода будет максимально достигнута в случае выбора оптимального метода балансировки нагрузки с помощью проксирующего сервера NGINX. Выбор метода балансировки зависит, в большей степени, от специфики разрабатываемого web-проекта.

Среди наиболее популярных методов балансировки на основе прокси-сервера NGINX являются три метода.

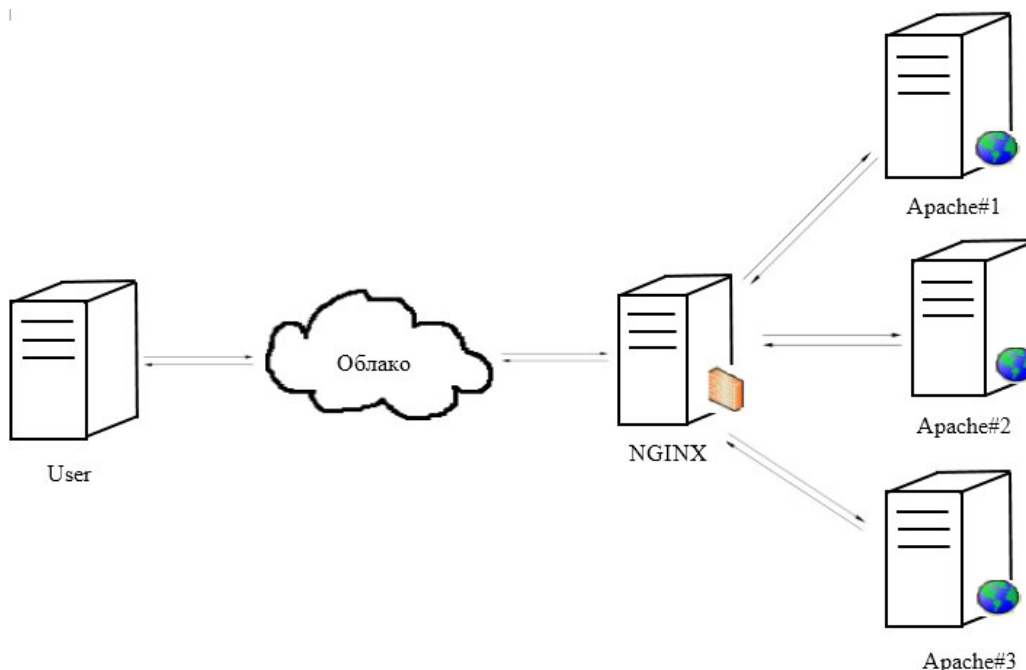


Рисунок 1 – Пример минимального кластера

1. Round Robin [1]

Данный метод основан на круговой передаче запросов функционирующим серверам по циклу: первый запрос – первому серверу, второй – второму и так для каждого.

Иными словами, рассматриваемый метод работает по следующей схеме показанной на рисунке 2.

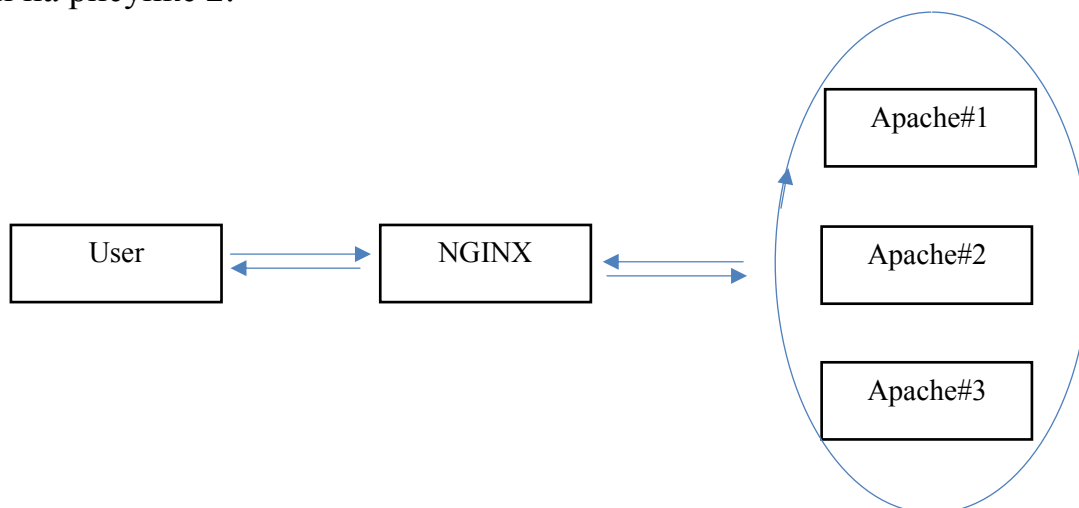


Рисунок 2 – Схема метода Round Robin

Такой метод удобен тем, что каждый сервер получает одинаковое количество запросов.

В усовершенствованных версиях данного метода каждому серверу можно присваивать весовой коэффициент. Это способствует распределению нагрузки по такому принципу: серверы, имеющие больший весовой коэффициент обрабатывают больше запросов.

2. Leas Connections[2]

Данный метод работает по принципу разграничения серверов по количеству активных подключений в реальное время. Новый запрос отдается на обработку серверу, имеющему меньшее количество активных соединений.

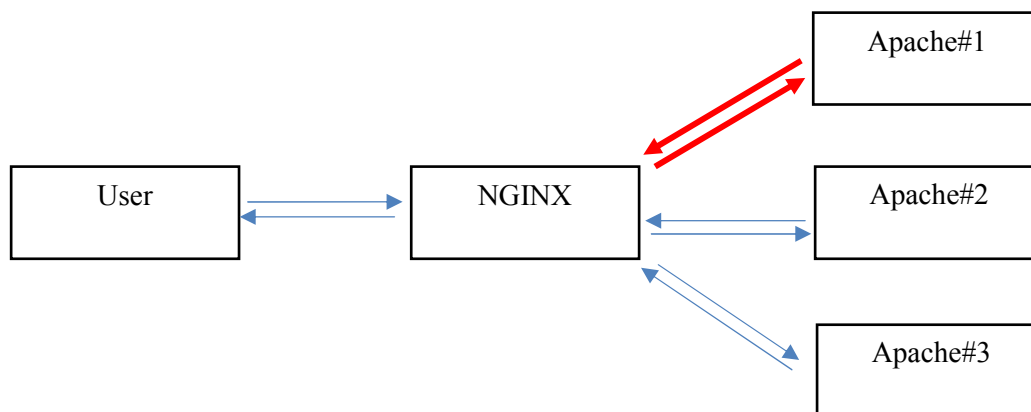


Рисунок 3 – Схема метода Leas Connections

На примере минимального кластера, изображенного на рисунке 1, показан метод отправки запроса на обработку серверу с наименьшим количеством активных подключений по сравнению с другими двумя.

Следующим сервером, которому NGINX отправит запрос на выполнение станет тот сервер из двух, у которого меньше активных подключений.

Здесь чем меньше активных подключений у сервера, тем больше запросов сервер получит на обработку.

3. IP Hash[2]

Распределение нагрузки по серверам происходит по IP-адресам клиентов. Такой метод гарантирует, что запросы одного конкретного клиента будут всегда передаваться на один конкретный сервер. Для каждого запроса NGINX вычисляет определённый хэш, который состоит из текста и переменных web-сервера. Затем он сопоставляется с серверами из back-end. В случае, если сервер будет недоступным, то запросы этого клиента будут передаваться на другой сервер.

Анализируя принцип действия каждого метода на примере их реализации на минимальном кластере, приведённом на рисунке 1.

Для воплощения в реальность такого минимального кластера потребовались:

1. Прокси-сервер балансировки NGINX. Здесь он выступает в качестве внешнего (Front-end) сервера балансировки нагрузки. NGINX позволяет эффективно распределить запросы пользователей между процессами.

2. Два Apache в качестве среднего (Middle-end) сервера, настроенных на связке NGINX+Apache+PHP7.0

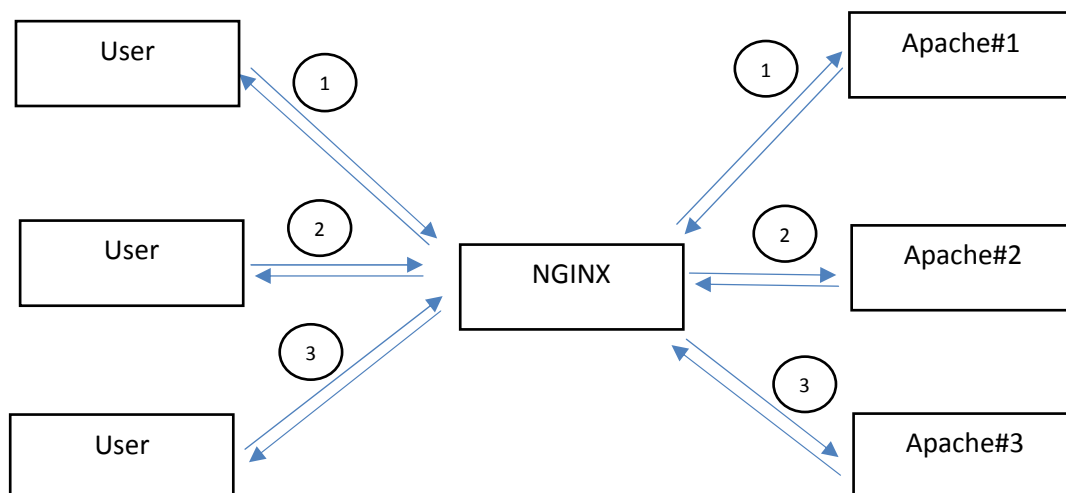


Рисунок 4 – Схема метода IP Hash

Данная схема работает по следующему принципу: при доступе к какому-либо web-приложению статический запрос пользователя поступает на обработку сервера. В ответ пользователь получает IP-адрес сервера переднего плана (с NGINX). При таком запросе пользователь взаимодействует с сервером, который позволяет обработать запрос статического характера и формирует результат запроса.

Под режимом обслуживания принимается то, что в ответ на все запросы должна выдаваться страница с сообщением о состоянии выполняемых скриптов на серверах Apache.

В случае необходимости обработать динамический запрос выполняется переадресация запроса на серверы среднего уровня, которые разграничивают доступ к запрашиваемому ресурсу для разных пользователей.

Анализируя по такому принципу функционирование всех компонентов кластера получили приведённые в таблицах 1, 2 и 3 результаты реализации каждого метода балансировки нагрузки.

Таблица 1 – Результаты выполнения метода Round Robin

Алгоритм Round Robin											
Кол-во нагруж. серверов	Нагруж. ядра процессора	Отдельные показатели CPU, %					Число потоков, thr	Число выполн. потоков, running	Кол-во Task s	Средний показатель CPU, % (по ядрам)	Общий средний показатель CPU, %
1	1	0	0,7	2,7	2,9	2,6	8	2	69	1,78	35,76
	2	69,1	68,5	70,5	70,4	70,2				69,74	
	3	-									
	4	-									
2	1	42,4	49	53,3	40,7	28,7	3	3	57	42,82	36,185
	2	69,3	68,7	67,8	69,1	68,9				68,76	
	3	2,7	6,6	2,6	6,5	6,8				5,04	
	4	44,4	36,4	16,7	11,3	31,8				28,12	

Таблица 1 – Результаты выполнения метода Round Robin (продолжение)

3	1	74,5	71,8	75,3	75,5	75,8	4	4	16	74,58	76,61
	2	89,3	80,1	90,1	85,3	94				87,76	
	3	70,2	75,3	67,8	61,7	74				69,8	
	4	78	73,8	69,3	74	76,4				74,3	
4	1	100					16	8	209	100	100
	2										
	3										
	4										

Таблица 2 – Результаты выполнения метода Leas Connections

Алгоритм Leas Connection											
Кол-во нагруж. серверов	Нагруж. ядра процессора	Отдельные показатели CPU, %					Число потоков, thr	Число выполн. потоков, running	Кол- во Tasks	Средний показатель CPU, % (по ядрам)	Общий средний показатель CPU, %
1	1	3,3					12	2	34	3,3	35,47
	2	70,5	70,9	68,9	64	63,9				67,64	
	3	-								-	
	4	-								-	
2	1	39,2	40	40,9	42,9	46,4	10	8	24	41,88	35,485
	2	50,7	66,3	67,9	68	68,9				64,36	
	3	0,7	15,9	17,2	17,1	17,9				13,76	
	4	16	32	35,8	15,2	10,7				21,94	
3	1	80	78	68,7	77,2	77	16	4	70	76,18	72,24
	2	80	86	84,6	61,7	62				74,86	
	3	61,9	69,9	64,4	64,3	64				64,9	
	4	64	79,5	69,3	76,2	76,1				73,02	
4	1	100					16	150	209	100	100
	2										
	3										
	4										

Таблица 3 – Результаты выполнения метода IP Hash

Алгоритм IP Hash											
Кол-во нагрузж. серверов	Нагрузж. ядра процессора	Отдельные показатели CPU, %					Число потоков, thr	Число выполн. потоков, running	Кол- во Tasks	Средний показатель CPU, % (по ядрам)	Общий средний показатель CPU, %
1	1	55,3	57,1	57,2	56	53,7	11	5	32	55,86	43,3625
	2	73,8	73,7	73,5	73	72				73,2	
	3	0,7	0,8	10	11	14,7				7,44	
	4	11,3								11,3	
2	1	68,9	79,9	87,9	88,9	100	7	3	44	85,12	87,6
	2	100								100	

Таблица 3 – Результаты выполнения метода IP Hash (продолжение)

	3						
	4						
3	1	100	6	13	68	100	100
	2						
	3						
	4						

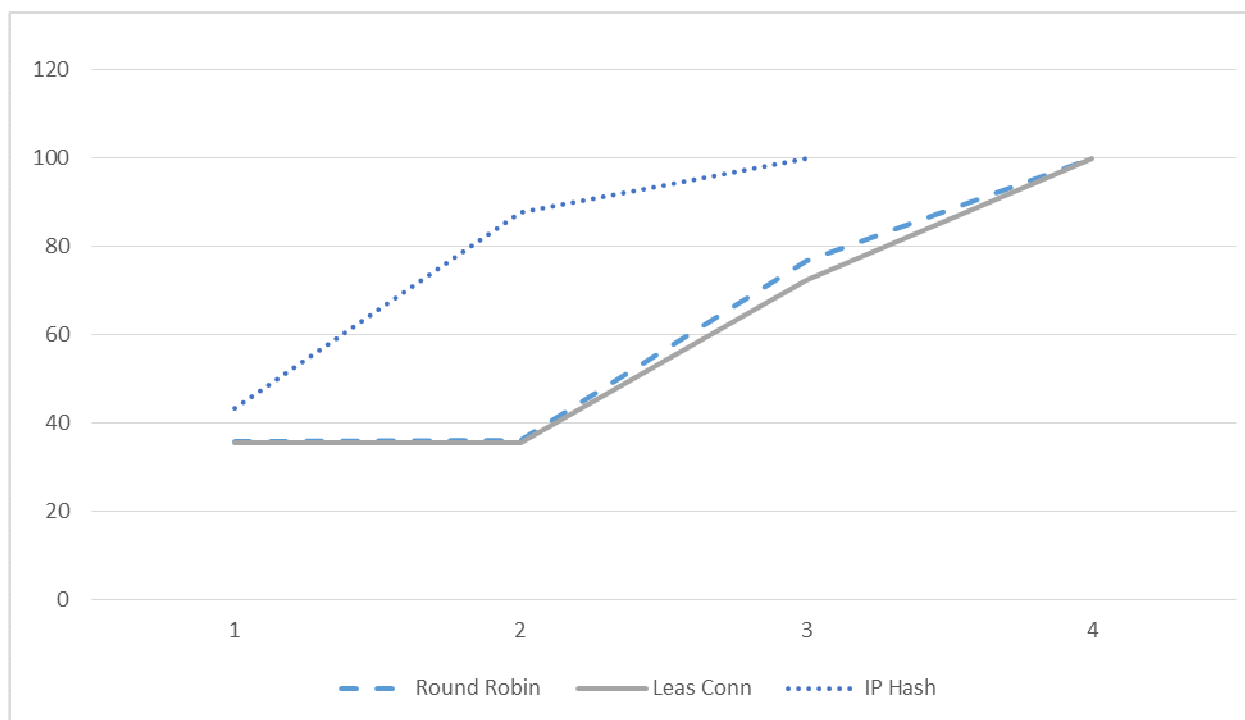


Рисунок 5 – Графическое изображение результатов реализации методов балансировки нагрузки

На рисунке 5 приведено графическое изображение зависимости нагрузки на серверы из back-end от количества подключаемых серверов. Иными словами, зависимость нагрузки на серверы с Apache от количества отправляемых запросов.

Как видно по графику, наиболее загруженными серверы из back-end становятся при реализации метода Round Robin. В таком случае она возрастает максимально при отправке уже 1-2 запросов. При этом наблюдается наиболее продолжительный ответ серверов с Apache. При отправке запроса с 3-4 серверов наблюдалось появление ошибки вместо обработанного запроса.

Напротив, при реализации метода Leas Connection наблюдалась постепенная нагрузка на серверы Apache. Следует подчеркнуть, что при отправке запросов с 5-8 серверов ошибки не возникло.

Реализация метода IP Hash привела к нагрузке, аналогичной той, что была получена при выполнении метода Leas Connection. Однако серверы из front-end в ответ на запрос получали ошибку.

В исследовании использовался скрипт, сложный в функциональности и количестве вычислений, что повлекло собой минимальное количество серверов,

потребовавшихся для перехода кластера в режим насыщения. Стоит отметить, что при применении скрипта, вызывающего меньшую нагрузку на серверы из back-end при минимальном количестве запросов, станет возможным получить более детальное исследование каждого метода балансировки нагрузки NGINX.

В дальнейшие планы входит подключение к системе MySQL, в которой будет храниться информация для сайта и настройка связки полученной системы с MySQL.

Литература

1. Сайт АО «Региональный Сетевой Информационный Центр» (RU-CENTER)[Электронный ресурс]. 2011-2016. URL: <http://info.nic.ru/>
2. 8 Host [Электронный ресурс]. 2016. URL: <https://www.8host.com/blog/balansirovka-nagruzki-nginx/>

**В.Н. Ахметова, к.э.н., докторант
(РХТУ им. Д.И. Менделеева)**

**М.В. Черновлаова, маг.; О.В. Булыгина, к.э.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)**

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТОРОМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

(Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России №2014/123 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности, проект № 2493)

Стратегическую роль в экономике Российской Федерации играет нефтегазовый комплекс, который объединяет совокупность отраслей по добыче нефти и газа, транспортировке, переработке, а также распределению продуктов их переработки. На сегодняшний день Россия обладает одними из крупнейших запасов нефти (около 6% разведенных запасов) и природного газа (23% разведенных запасов) в мире. Данный комплекс формирует значительную часть поступлений в государственный бюджет (более 50%), определяет загрузку многих отраслей отечественной промышленности, обеспечивает рабочими местами свыше 940 тыс. человек, а также существенно влияет на курс национальной валюты [1].

Ввиду удаленности потребителей добываемых топливно-энергетических ресурсов, транспортировка играет важную роль в повышении эффективности деятельности нефтегазового комплекса. Сегодня одним из ключевых видов транспорта является трубопроводная система (например, газотранспортная система России - это 171,2 тыс. км магистральных газопроводов и 250 линейных компрессорных станций) [2].

В целом, трубопроводная система транспортировки топливно-энергетических ресурсов представляет собой эргатическую систему, в которой важную роль играет человек-оператор, принимающий диспетчерские решения по организации эффективного функционирования оборудования и протеканию технологических процессов. Как следствие, повышение безопасности объектов

трубопроводного транспорта неразрывно связано с эффективной организацией труда задействованного в оперативно-диспетчерском управлении персонала, позволяющей сократить вероятность совершения ошибочных действий, которые могут привести к аварийным ситуациям.

Зачастую к возникновению аварийных ситуаций приводят такие условия, характерные для диспетчерского труда, как высокий эмоциональный фон, порожденный огромной ответственностью, и острый дефицит времени, в условиях которого осуществляется оперативная работа. В результате негативного влияния данных факторов из памяти диспетчера могут выпадать известные ему из инструкций подходы к решению различных технологических проблем [3].

Для организации эффективного принятия управленческих решений целесообразно использовать специализированные системы поддержки принятия решения (СППР), представляющие собой программно-аппаратные комплексы, используемые для моделирования технологических процессов при транспортировке топливно-энергетических ресурсов [4]. На рисунке 1 представлена модель системы поддержки принятия решений, которая позволяет оценивать показатели эффективности и производительности труда оператора трубопроводного предприятия.

В соответствии с представленной на рисунке 1 моделью управление производительностью и эффективностью труда оператора трубопроводной организации представляется в виде непрерывного процесса. Использование системы поддержки принятия решений в данном случае позволяет учитывать различные условия внешней и внутренней среды организации, оказывающие непосредственное воздействие на деятельность оператора, что в результате позволяет принимать правильные управленческие решения. Данные решения являются основой для разработки стратегической подпрограммы управления эргономикой, на которой, в свою очередь, базируется программа управления производительностью и эффективностью труда диспетчера. Для эффективной реализации стратегии в области эргономики предполагается формирование конкретных тактических мероприятий, которые также формируются на основании предложенных системой решений.

Таким образом, формируется комплексная программа по управлению производительностью и эффективностью труда, описывающая характеристики условий, охраны и безопасности труда, которые должны выполняться для обеспечения заданных уровней эффективности и производительности деятельности оператора, что оценивается, в свою очередь, соответствующими показателями.

В общем, систему поддержки принятия решений на трубопроводном предприятии можно представить в виде трех функциональных блоков:

- модель, предназначенная для описания поведения человека-оператора;
- система поддержки принятия решений в процессе построения системы, ориентированной на разработку решений, которые должны повысить производительность и эффективность труда (СППР2);

- система поддержки принятия решений, предназначенная для формирования различных предложений по улучшению деятельности человека-оператора (СППР1).

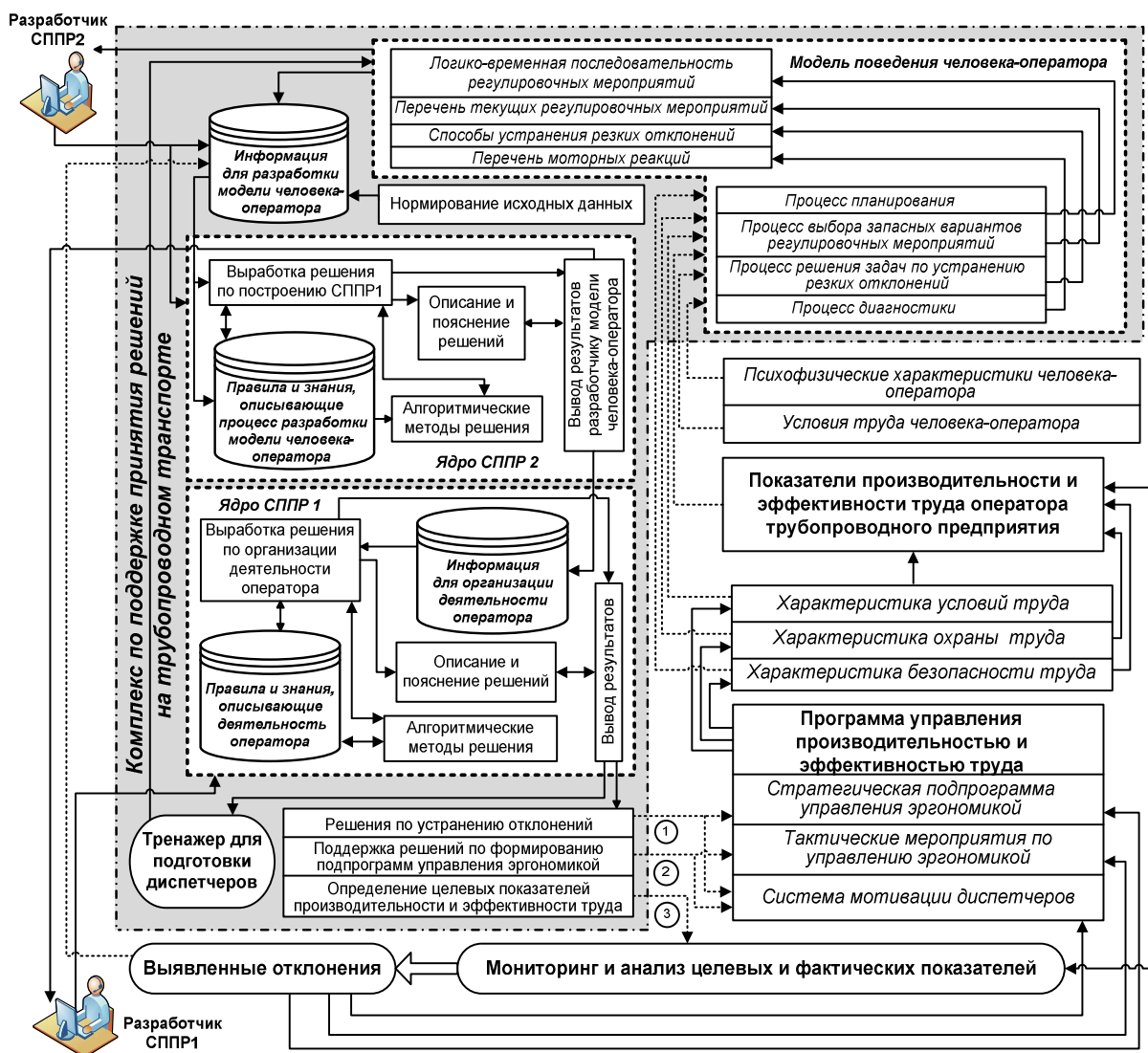


Рисунок 1 – Модель системы поддержки принятия решений оператором при управлении трубопроводным предприятием (источник: составлено авторами)

Модель человека-оператора позволяет на основании поступающих данных формирует поведение человека-оператора в процессе выполнения его функциональных обязанностей в трубопроводной организации. В качестве исходных данных для ее построения выступают психофизические характеристики человека-оператора; условия труда на момент моделирования; установленные значения характеристик (показателей) условий, охраны и безопасности труда, а также данные получаемые от тренажеров, используемых для подготовки и повышения квалификации диспетчеров трубопроводного транспорта.

Поступающие сведения позволяют построить мыслительную модель человека-оператора, которая отражает процесс формирования отдельных его реакций и поведения в зависимости от текущей ситуации (планирования мероприятий, диагностики и анализа отклонений, поиска альтернативных вариантов решений и т.д.).

Полученные в процессе моделирования деятельности человека-оператора данные как в исходном, так и в нормированном виде поступают в единое хранилище данных. Также в этом хранилище содержатся сведения, поступающие от разработчика СППР2 (сведения о структуре базы знаний, алгоритмических методах, способах представления данных и т.д. [4]), и результаты выявленных в ходе мониторинга и анализа деятельности человека-оператора отклонений.

На основании указанной информации и заложенных в информационной системе алгоритмических методов, а также базы знаний (чаще всего представляемая в виде семантической сети или системы продукционных правил) в блоке логического вывода формируются конкретные решения по разработке СППР1. С помощью подсистемы пояснений и описаний показывается, каким образом получено решение и какие знания при этом использованы. Подсистема вывода передает конкретные решения и характеристики, необходимые для принятия решений, направленных на улучшение производительности и эффективности деятельности человека-оператора трубопроводного предприятия, в базу данных СППР1 и ее разработчику, на основании которой происходит совершенствование ее функционирования в случае изменения внешних и внутренних условий деятельности человека-оператора.

Процесс выработки конкретных решений осуществляется аналогичным образом на основании базы знаний, содержащей конкретные правила и предыдущий опыт организации деятельности человека-оператора и заложенных алгоритмов. В результате полученные решения следуют через блок объяснений в подсистемы вывода результатов. Все решения в данном случае разделяются по двум группам:

- 1) описание требований и характеристик для построения тренажера по подготовке диспетчеров;
- 2) решения, направленные на улучшение текущей деятельности человека-оператора.

В свою очередь, вторую группу решений можно подразделить на три направления:

- определение целевых показателей производительности и эффективности труда оператора трубопроводного предприятия;
- поддержание решений по формированию подпрограмм управления эргономикой;
- выработка решений по устранению отклонений.

Таким образом, каждое направление ориентировано на решение определенного вида задач. Первое направление предполагает формирование

или корректировку стратегической подпрограммы управления эргономикой, второе – выработку тактических решений по управлению эргономикой, а третье – определение значений целевых показателей, с которыми производится сравнение фактических в процессе проведения мониторинга и анализа эффективности и производительности труда оператора трубопроводного предприятия. При этом первое и второе направления используются при построении и совершенствовании системы мотивации диспетчеров.

Предлагаемый в статье подход к организации поддержки принятия решений диспетчером при управлении трубопроводным транспортом углеводородов, основанный на применении мысленной модели человека-оператора, интеллектуальных информационных систем, анализирующих накопленные различные данные и знания, и многофункциональных тренажеров, позволяет осуществлять эффективное информационное сопровождение различных технологических процессов. Отличительной особенностью описанного подхода является учет различных внешних и внутренних условий деятельности диспетчера, влияющих на эффективность принимаемых им управленческих решений. В результате организация получает эффективный инструмент по формированию и управлению эргономикой, который позволяет непрерывно отслеживать текущее состояние целевых показателей и выявлять отклонения, а также формировать решения по их устранению или ликвидации последствий данных отклонений.

Литература:

1. Зевако А.В., Евенко В.В. Оценка состояния нефтегазового комплекса России и перспектив его развития // Инновационный путь развития экономики регионов: сборник научных трудов. Под редакцией О.Н. Федонина, В.В. Одиноченкова, Н.В. Грачевой. 2013. С. 50-59.

2. Балахонова К.А., Рудомётов Н.Д. Состояние и перспективы нефтегазового комплекса // Экономика и социум. 2016. № 5-1 (24). С. 218-224.

4. Кантюков Р.А., Сухарев М.Г., Мешалкин В.П., Гимранов Р.К., Попов А.Г., Рыженков И.В. Прогноз потребления газа – основа принятия рациональных решений по структуре и технологическим параметрам при проектировании и реконструкции системы газоснабжения // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. 2015. №1. С. 201-221.

4. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21-28.

В.И. Бобков, к.т.н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАВНОМЕРНЫЙ НАГРЕВ ПЛОТНОГО СЛОЯ ОКАТЫШЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН

Актуальность задач управления физико-химическими превращениями при термической подготовке окомкованного сырьев в плотном слое на колосниковой решётке обжиговой конвейерной машины определяется высокой энергоёмкостью процессов и влиянием множества факторов. Теплоперенос в плотном слое химически реагирующих дисперсных частиц описывается уравнением теплопроводности для задачи внутреннего теплообмена в окатыше

и уравнением теплообмена между греющим газом и окатышами. Математическая модель и её разностное представление описаны в [1].

Режимы эффективного обжига, то есть максимальной производительности аппаратов, работающих на заданном сырье, при известной высоте и фракционном составе засыпки обеспечиваются: нагревом окатышей до максимально возможной температуры с максимально возможной скоростью. Выдерживанием материала при этой температуре в течение времени, необходимого для завершения процессов диссоциации карбонатов и спекания, что следует из зависимости этих процессов от температуры. Таким образом, задача сводится к поиску оптимального управления, параметры которого – начальная температура $T_{g0}(\tau)$ и скорость греющих газов на входе в слой $W_g(\tau)$, когда $T_{gh} \rightarrow T_{gh}^{MAX}$. В этом случае реализуется максимально возможная средняя температура газа в слое и при соответствующем коэффициенте теплоотдачи будет обеспечен наиболее интенсивный нагрев материала. Технологические особенности процесса обжига накладывают ряд ограничений на поведение системы [2].

Температура газов на выходе из слоя ограничена условиями работы колосниковой решетки $T_{gh} \leq T_{gh}^{MAX}$. Скорость газа ограничена производительностью тягодутьевых установок $0 < W_{gh} \leq W_{gh}^{MAX}$, температура греющих газов на входе - конструкцией горна и температурой предельного нагрева сырья по условиям спекания. Один из возможных эвристических критериев оптимальности $|T_{gh} - T_{gh}^{MAX}| \rightarrow \min$. Алгоритм скользящего допущения с оптимизацией по методу деформируемого многогранника принят при решении данной задачи. Он позволяет улучшать значения целевой функции как за счет информации, получаемой в допустимых точках пространства решений, так и за счет информации, которую удастся получить при прохождении через некоторые точки, лежащие вне допустимой области, но являющимися близкими к допустимым. А также исключать определенные практические трудности, встречающиеся при использовании регулярных симплексов, а именно отсутствие ускорения поиска на искривленных “оврагах” и “хребтах”. Для увеличения скорости нахождения минимума на каждом последующем временном шаге, в качестве начальной точки поиска, будем брать найденную точку минимума на предыдущем временном шаге.

Результаты решения поставленной задачи при ограничениях на управления $0.1 < W_{g0} < 1.0$ и $400 < T_{g0} < 1500$ и критерии $|T_{gh} - 850| \rightarrow \min$, при высоте засыпки слоя 0.2м и диаметре окатышей 0.02м приведены на Рисунках 1 – 4. Тепло-физические характеристики материала и кинетические константы химической реакции взяты из [3].

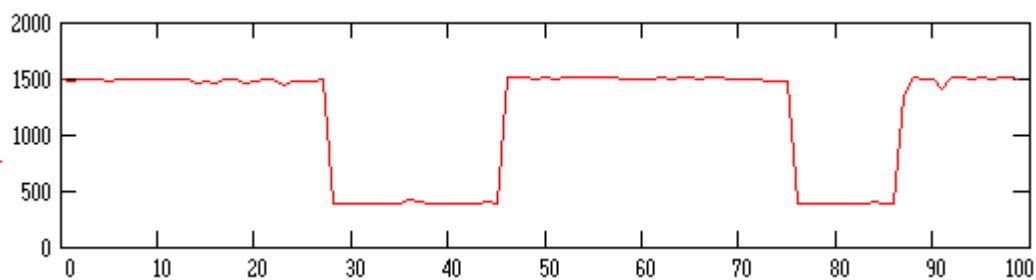


Рисунок 1 – Зависимость температуры греющего газа на входе в слой

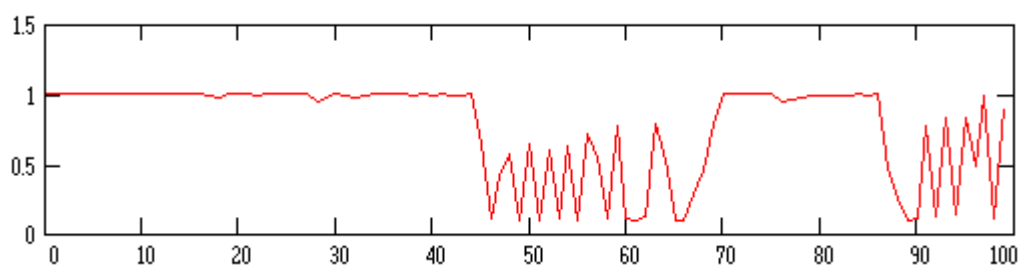


Рисунок 2 – Зависимость скорости греющего газа на входе в слой

Известно, что тепловой импульс в среде с поглощением локализуется в конечной пространственной области и может служить средством воздействия на реагирующий материал. Тепловое воздействие на зернистый материал должно быть сосредоточено в пределах толщины слоя. Таким образом, создавая тепловую волну за счет резкого увеличения теплоотдачи на начальном этапе прогрева материала, можно локально повышать температуру в зоне реагирования без существенного повышения температуры газов на выходе из слоя. Что явно прослеживается на Рисунке 4. Для удобства анализа результатов время пребывания материала на колосниковой решетке представлено в процентах.

На участке 0 – 27 создается мощная тепловая волна (здесь температура и скорость греющих газов максимально возможная Рисунки 1,2). Затем, когда тепловой фронт греющих газов достигает максимально допустимой температуры на выходе из слоя T_{gh}^{MAX} происходит резкое падение температуры газа до минимума, при этом скорость газа остается максимальной чтобы обеспечить наиболее эффективный теплообмен между ним и материалом слоя (участок 27 – 45).

Причем на этом участке происходит перенос тепла от нижних, более горячих слоев, к верхним, менее нагретым. На следующем этапе температура газа опять поднимается до максимального значения, а скорость прососа газов колеблется в пределах минимума: что обеспечивает более “спокойный” прогрев материала. Затем температура газов падает, скорость подачи газов возрастает, и опять происходит перенос тепла от нижних слоев к верхним. В силу того что верхние слои постепенно нагреваются до максимальной температуры T_{gh}^{MAX} процесс волнообразования затухает к нижним слоям

(участок 45 –100 Рисунок 4.) и в пределе достигается постоянная по слою температура материала T_{gh}^{MAX} .

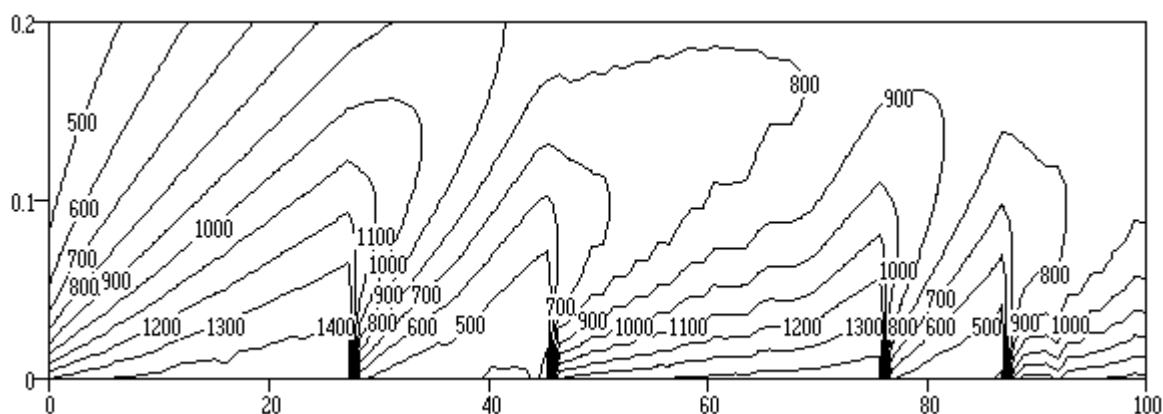


Рисунок 3 – Температурное поле греющего газа в слое

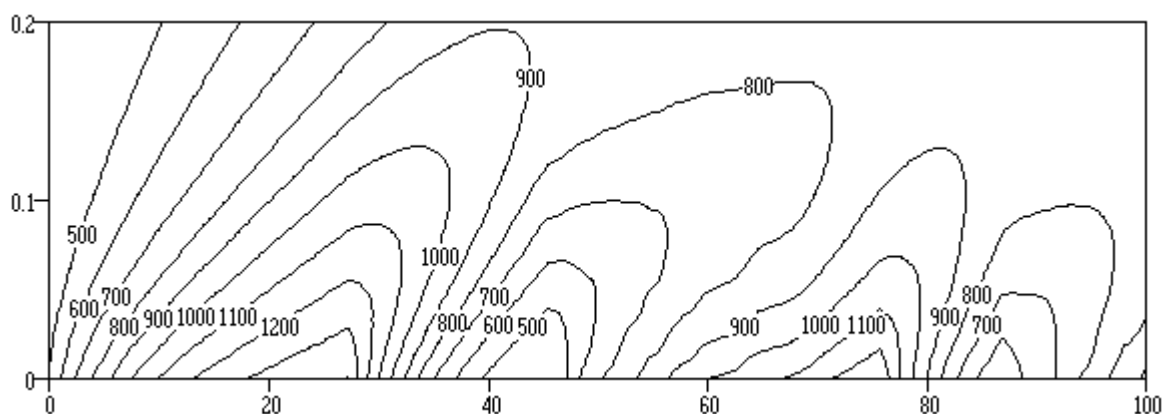


Рисунок 4 – Температурное поле в слое окатышей

Из анализа решения видно, что при данной постановке обеспечивается так же наискорейший равномерный нагрев слоя до определенной температуры при известных ограничениях. Именно эти ограничения формируют волнообразный процесс прогрева системы, что в принципе энергетически невыгодно. А для проведения целевых термически активируемых процессов, учитывая энергосбережение, необходимо сформировать одну затухающую тепловую волну в слое материала и управлять ею.

Очевидно, что оптимальное управление технологическим процессом обжига посредством изменения параметров $W_{g0}(\tau)$ и $T_{g0}(\tau)$ дает возможность получить программу нагрева материала, удовлетворяющую необходимым технологическим требованиям. Создание программированного распределения скорости прососа и температуры газов по длине обжиговой машины может быть достигнуто перераспределением подачи топлива и воздуха в горелочные устройства и режимом работы эксгаустеров.

Литература

1. Бобков В.И. Исследование технологических и тепло-массообменных процессов в плотном слое дисперсного материала // Тепловые процессы в технике. 2014. №3. С.139-144.

2. Бобков В.И. Ресурсосбережение в электротермии при подготовке сырья на обжиговых машинах конвейерного типа // Электрометаллургия. 2015. №7. С.26-34.
3. Богатырев А.Ф., Панченко С.В. Математические модели в теплотехнологии фосфора. М.: МЭИ, 1996. – 207с.
4. Бобков В.И., Кулага Н.Ф. Оптимальное управление термически активируемыми процессами подготовки дисперсного сырья в плотном слое // Научное обозрение. 2015. №17. С.113-120.

**В.Н. Богатилов, д.т.н., проф., А.Ю. Ключин, к.т.н., доц., Диалло Амаду Бойе, асп,
Дим Дике Терфа, асп. (Тверской Государственный технический университет)**
**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ИНТЕРНЕТ-САЙТА НА ОСНОВЕ ЕГО МЕТРИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ**

На сегодняшний момент активно развиваются системы, основанные на интернет-технологии и web-сайты играют важную роль в сообществе. Процесс функционирования системы можно рассматривать как последовательную схему смены ее состояний S_i на некотором интервале времени $(t_o; t_k)$. Состояние системы в каждый момент времени t из этого интервала характеризуется набором параметров этой системы, на которые накладываются ограничения $\varphi(T, K, U) \leq 0$, зависящие от множества параметров $\{T_i, K_j, U_{np}\}$ (технологических - $\{T_i, i=1...I\}$; конструктивных - $\{K_j, j=1...J\}$; управления - $\{U_{np}, l=1...L\}$). Выход за эти ограничения означает переход процесса во внештатную ситуацию. Эти ограничения, «вырезают» на множестве всех состояний процесса n -мерную область (рис. 1), в которой процесс не выходит во внештатные ситуации - это область всех работоспособных состояний процесса: $S_p \subseteq S$.

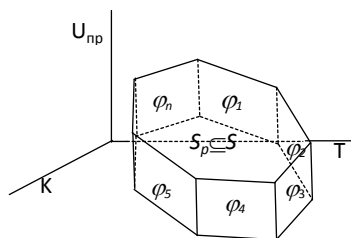


Рис. 1. Область существования состояний системы

В каждом моменте времени, система ставит в соответствие каждой ситуации $\tilde{S}_i$ из определенного набора ситуаций S_s , характеризующего все возможные состояния web-сайта. Входная ситуация ${}^T S_0$ сравнивается с ситуациями $\tilde{S}_i \in S_s$, и определяется нечеткая ситуация, в некотором смысле наиболее близкая входной нечеткой ситуации. Модель операции сравнения можно построить, используя операцию нечеткой эквивалентности [1].

Формальное определение «нечеткой» ситуации. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — множество признаков web-сайта. Каждый признак x_i описывается соответствующей лингвистической переменной $\langle \beta_i, E_i, F_i \rangle$, где β_i - название

лингвистической переменной; $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$ - терм-множество лингвистической переменной β_i ; F_i - базовое множество лингвистической переменной β_i .

Нечеткое равенство или эквивалентность. В качестве меры близости между ситуациями обычно рассматриваются два критерия: *степень нечеткого включения* и *степень нечеткого равенства*.

Степень включения ситуации в ситуацию обозначается и определяется выражением:

$$\nu(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) = \& \nu \left(\mu_{S_{X_i}}(X), \mu_{S_{X_j}}(X) \right),$$

$$\text{где } \nu \left(\mu_{S_{X_i}}(X), \mu_{S_{X_j}}(X) \right) = \&_{E_k} \left(\mu_{\mu_{S_{X_i}}(X)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{S_{X_j}}(X)}(E_k) \right);$$

$$\mu_{\mu_{S_{X_i}}(X)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{S_{X_j}}(X)}(E_k) = \max \left\{ 1 - \mu_{S_{X_i}}(X)(E_k), \mu_{S_{X_j}}(X)(E_k) \right\}.$$

Обычно считают, что ситуация $\tilde{S}_i$ нечетко включается в $\tilde{S}_j$, $\tilde{S}_i \subseteq \tilde{S}_j$, если степень включения $\tilde{S}_i$ в $\tilde{S}_j$ не меньше некоторого порога включения $t_{inc} \in [0,6:1]$, определяемого условиями управления, то есть $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) \geq t_{inc}$.

Если множество текущих ситуаций $\tilde{S}_X$ содержит такие ситуации $\tilde{S}_{X_i}$ и $\tilde{S}_{X_j}$, что $\tilde{S}_{X_i}$ нечетко включается в $\tilde{S}_{X_j}$, а $\tilde{S}_{X_j}$ нечетко включается в $\tilde{S}_{X_i}$, то ситуации $\tilde{S}_{X_i}$ и $\tilde{S}_{X_j}$ нужно воспринимать как одну ситуацию. Это означает, что при данном пороге включения t ситуации $\tilde{S}_{X_i}$ и $\tilde{S}_{X_j}$ примерно одинаковы. Такое сходство ситуаций называется нечетким равенством, при этом степень нечеткого равенства равна:

$$\mu(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) = \nu(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) \& \nu(\tilde{S}_{X_j}, \tilde{S}_{X_i}).$$

В отличие от набора ${}^T S_s = \{S_1^T, S_2^T, \dots, S_n^T\}$ текущих ситуаций, набор $S_s = \{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n\}$, ($n \leq N$) ситуаций web-сайта не содержит нечетко равных при заданном пороге равенства ситуаций. Предполагается, что множество S_s полно. Таким образом, ситуация $\tilde{S}_i$ существует для любой входной ситуации S_0 . Данный подход построен на основании метода ситуационного управления.

Для определения оценки уровня безопасности введем понятие индекса. Для оценки web-сайтом текущего состояния системы необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности (точка наиболее благоприятного режима функционирования системы сайта). При этом степень нечеткого равенства:

$In(\tilde{S}_x^*) = \nu(\tilde{S}_x^*, \tilde{S}_{x_o}) \& \nu(\tilde{S}_{x_o}, \tilde{S}_x^*)$ и покажет величину, которую можно определить, как субъективный индекс идеала web-сайта.

Риск web-сайта при различных состояниях можно определить, учитывая ущербы, которые возникают в процессе его работы. Определение оценки индекса риска реализуются на основе того же механизма вычислений, как и оценки индекса безопасности. Риск, в данном случае, определяется как двойка $\langle \text{индекс безопасности, индекс ущерба} \rangle$: $In_r(\tilde{S}^*) = \{In(\tilde{S}_p^*), In(\tilde{S}_d^*)\}$.

Процесс функционирования системы - это непрерывная смена состояний. Смена состояний происходит под воздействием внешних и внутренних факторов. Могут возникать различные внештатные ситуации. Процесс смены состояний системы сопровождается также непрерывной сменой значений индексов безопасности или рисков и происходит это непрерывно во времени. В работе делается предположение, что смену состояний системы можно описать Марковскими случайными процессами. Марковские случайные процессы с конечным или счетным множеством возможных состояний обычно называют цепями Маркова.

Например, для системы с тремя состояниями (рис. 2) может быть определена следующая система уравнений Колмогорова [2]:

$$\begin{cases} \frac{dIn_1^R}{dt} = -\lambda_{12}In_1^R + \lambda_{31}In_3^R + \lambda_{13}In_1^R \\ \frac{dIn_2^R}{dt} = \lambda_{12}In_1^R + \lambda_{23}In_2^R \\ \frac{dIn_3^R}{dt} = -\lambda_{31}In_3^R + \lambda_{13}In_1^R \end{cases}$$

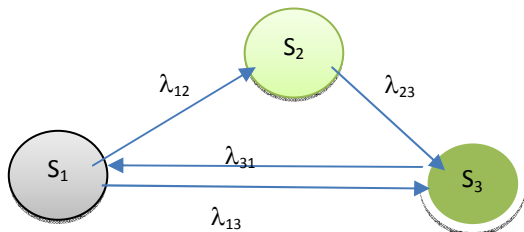


Рис. 2. Система с тремя состояниями

где

$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Ind_{ij}^R(\Delta t)}{\Delta t}$ - плотность перехода λ_{ij} как предел отношения значения индекса за время Δt при переходе из состояния S_i в состояние S_j к длине промежутка Δt .

$Ind^R(t)$ - интенсивность перехода индекса оценки идеала web-сайта.

Используя структурное подобие вероятностного графа и нечеткого графа для моделирования процессов смены состояний web-сайта, рассматривается один из методов расчета Марковских процессов - топологический метод [3]. Подобие графов позволяет использовать одни и те же формулы для расчета:

- вероятности нахождения системы в некотором состоянии (индексы надежности состояния для нечеткой системы);
- коэффициентов готовности и простоя (индексы коэффициентов готовности и простоя);
- среднего времени наработки на отказ и среднего времени восстановления (индексы времени наработки на отказ и времени восстановления).

Основные положения топологического метода могут быть применены для определения показателей надежности системы в неустановившемся режиме с использованием преобразований Лапласа. Необходимо отметить, что показатели надежности, вычисленные по нечеткой модели, должны совпадать с показателями надежности, вычисленными по вероятностной модели. В отличие от вероятностной Марковской модели, где суммы вероятностей состояний для каждого момента времени равны единице, в нечеткой системе такое условие не накладывается на индекс надежности. Поэтому по равенству показателей можно проводить верификацию нечеткой модели.

Алгоритм оценки состояний объекта и расчета показателей надежности по нечеткой модели включает следующие основные этапы:

1. ввод информации о реальной ситуации на объекте;
2. оценка индексов надежности состояний [4];
3. оценка нечетких интенсивностей переходов из состояния в состояние;
4. расчет показателей надежности системы.

Рассмотренные в статье модель, методика и алгоритм определения показателей надежности информационных систем на основе использования нечеткой Марковской модели реализованы в виде технологии оценки состояний надежности web-сайта.

Предложенный подход обеспечивает более гибкую адаптацию к конкретной задаче и позволяет выполнять диагностирование объекта уже на этапе расчета интегрального показателя надежности. Гибкость достигается за счет того, что состояние надежности может оцениваться сразу по нескольким надежностным показателям. Диагностика на этапе вычисления интегрального показателя состояний достигается за счет того, что вычисления можно разделить на разные этапы. Каждый этап оценивает какой-либо из отдельных показателей, что в конечном итоге позволяет сделать вывод о состоянии соответствующего элемента.

Список литературы

1. Мелихов А. Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой.- М.: Наука, 1990.- 272 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций.- М.: Изд-во «Советское радио», 1972.- 551 с.
3. Палюх Б.В., Мироненко А.С. Надежность и эффективность экономических информационных систем.- Тверь: изд-во ТГТУ, 2003.- 157 с.
4. Богатиков В.Н., Алексеев В.В., Пророков А.Е. Приложения метода разделения состояний к управлению технологической безопасностью на основе индекса безопасности.- Тверь: изд-во ТГТУ, 2009.- 398 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Управление деятельностью любого производственного предприятия включает в себя множество разнообразных аспектов, а именно:

1) управление производством: определение количества и качества выпускаемой продукции, распределение загрузки оборудования, планирование времени, составление маршрута передвижения сырья и заданий на работу;

2) управление ремонтной деятельностью: учет оборудования, подлежащего ремонту, составление плана ремонта и учет внеплановых ремонтов, регистрирование наработки оборудования;

3) управление затратами и расчетом себестоимости: детализация исходных затрат, наглядность и контроль обоснованности расчета;

4) управление финансами: учет финансов в разрезе различных направлений деятельности, составление правил распределения финансовых ресурсов и согласование заявок на них;

5) бюджетирование: составление модели бюджетирования, расчет разнообразных плановых показателей;

6) управление продажами: управление ценообразованием и заказами клиентов, мониторинг процессов продаж, анализ запасов;

7) ведение регламентированного учета: ведение бухгалтерского и налогового учета;

8) управление персоналом: составление расписания работы, расчет заработной платы.

Таким образом, управление производственной деятельностью – это достаточно сложный и трудоемкий процесс, автоматизация которого позволит со временем сократить затраты на него (как материальные, так и трудовые), а также оптимизировать само производство.

Продукция предприятий по производству газоаналитической техники предназначена для:

- обеспечения безопасной эксплуатации промышленных, коммунальных и бытовых объектов, а также личной безопасности персонала предприятий;

- технологического мониторинга всевозможных газовых сред в целях повышения качества продукции и автоматизации различных технологических процессов;

- контроля компонентного состава газа;

- контроля технических параметров химической подготовки воды;

- экологического мониторинга одиночных и рассредоточенных источников выбросов различных загрязняющих веществ в атмосферу;

- измерения компонентного состава выхлопных газов автомобильного, железнодорожного, морского и речного транспорта;

- применения в специальных технических средствах;
- вспомогательных средств для газоанализаторов;
- метрологическое обеспечение газоаналитической продукции [1].

Газоаналитическая продукция применяется в нефтегазодобывающей, транспортирующей и перерабатывающей, химической и нефтехимической отраслях, на предприятиях цветной и черной металлургии, в производстве строительных материалов, тепловой и атомной энергии, на сельскохозяйственных предприятиях, целлюлозно-бумажных комбинатах, транспортных и коммунальных организациях.

Особенностью предприятий по производству газоаналитической техники является высокая наукоемкость данного производства: такие предприятия обладают всеми необходимыми ресурсами, техническими возможностями и персоналом для осуществления полного цикла разработки и изготовления средств измерения. К тому же такие организации имеют большую номенклатуру изделий, так как продукция применяется в самых различных областях промышленности. Управление деятельности предприятий по производству газоаналитической техники удобно производить с использованием специального программного обеспечения. На основании выше изложенного можно сделать вывод об актуальности использования информационных технологий в управлении деятельностью предприятий по производству газоаналитической техники.

В качестве программных средств организации используют системы планирования ресурсов предприятий (ERP). Такие системы служат для автоматизации планирования, учета, контроля и анализа основных бизнес-процессов в масштабе предприятия. Внедрение информационных технологий становится одним из инструментов повышения качества системы управления предприятием.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, удельный вес организаций, использующих в своей деятельности специальные программные средства, в период с 2010 по 2015 годы сократился с 89,1% до 84,8% [2]. Из них удельный вес организаций, использующих специальные программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими средствами и технологическими процессами, составляет на 2015 год около 15%. Динамику рассмотренного показателя можно представить в виде графика на рисунке 1.

Причинами этого сокращения могут быть высокая стоимость программных продуктов, их недостаточный функционал, ошибки внедрения программного обеспечения, связанные с отсутствием программы обучения или неверным выбором самого программного продукта.

Не допустить ошибку при выборе ERP-системы для своей компании – сложная задача. Выбирая ERP-систему важно обратить внимание не только на ее функциональные возможности, масштаб компании, но и на стоимость

внедрения, простоту освоения и возможность сопровождения компанией разработчиком.

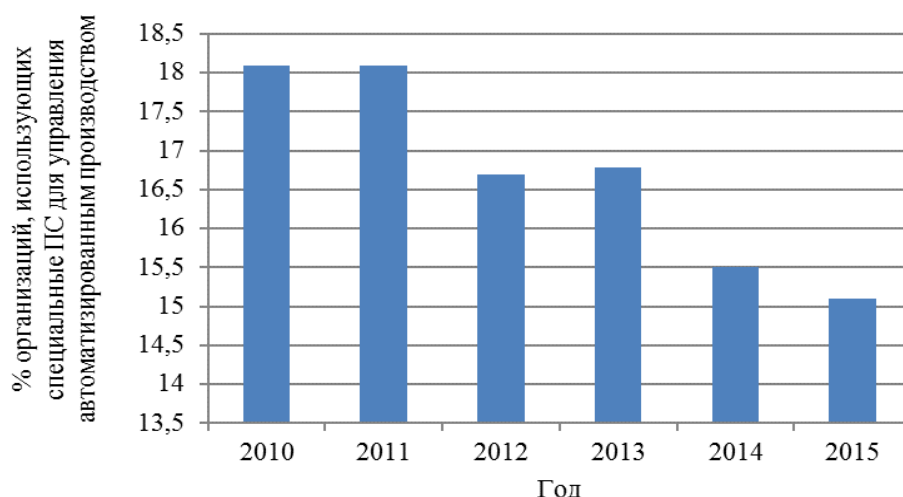


Рисунок 1 – Динамика удельного веса организаций, использующих специальные программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими средствами и технологическими процессами

Процесс внедрения ERP-системы на предприятии достаточно сложный и длительный. Согласно оценкам экспертов, менее 20% всех проектов по внедрению ERP-систем завершаются вовремя с сохранением бюджетов. Часто незапланированные финансовые затраты влияют на функциональность и приводят к досрочному завершению проекта. Интеграция системы в бизнес-процессы компании предполагает изменение логики внутренних процедур на предприятии, переосмысление бизнес-процессов, а также весомые изменения в работе его сотрудников [3].

На российском рынке ERP-систем присутствует обилие как иностранных, так и отечественных поставщиков. Характеристика наиболее распространенных ERP-систем по таким критериям как сфера применения, срок, стоимость внедрения представлена в таблице 1.

Рассмотренные ERP-системы ориентированы на крупные компании. Цена данных программных продуктов высока, и не каждое предприятие может позволить себе такое приобретение. Также в связи с поручением Президента Российской Федерации В. В. Путина об импортозамещении стоит обратить внимание на рынок российских ИТ-компаний вместо программных продуктов иностранных поставщиков. Среди отечественных производителей ERP-систем для предприятий, осуществляющих производство газоаналитического оборудования, лидером является «1С: ERP Управление предприятием 2». В отличие от своих конкурентов компания «1С» имеет следующие преимущества: известность на российском рынке; надежность; масштабируемость; простота освоения; невысокая стоимость владения; большое количество специализированных решений, расширяющих возможности системы; работа через Интернет в «облачном» режиме; организация мобильных рабочих мест; настройка интерфейса.

Таблица 1 – Распространенные ERP-системы на территории Российской Федерации

ERP-система	Компания (поставщик)	Сфера применения системы	Срок	Стоимость внедрения системы
SAP R/3	SAP AG (Германия)	Оборонные предприятия, компании нефтегазового комплекса, металлургия, энергетика телекоммуникации, банковский сектор.	от 1 до 5 лет и более	Лицензия на 50 раб. мест около \$350 000. Стоимость внедрения может в несколько раз превышать стоимость системы.
Oracle Applications	Oracle (США)	Тяжелая промышленность (преимущественно металлургия), телекоммуникационные компании, финансовый сектор, химическая промышленность.	от 1 до 5 лет и более	Стоимость системы на одно рабочее место около \$5 000. Полная стоимость зависит от требуемой функциональности и внедрения.
BaanERP	SSA Global (США)	Автомобилестроение, химическая промышленность, фармацевтика, пищевая промышленность.	от 6 месяцев до 1,5 лет и более	Стоимость одного рабочего места - \$3 000. Соотношение цены системы и расходов на внедрение 1:1-1:3.
MBS Ахapta, Navision	Microsoft (США)	Предприятия нефтяной отрасли, пищевой промышленности, торговые компании, металлургия, дистрибуция, телекоммуникационная отрасль.	от 6 месяцев до 2 лет и более	В среднем стоимость системы на одно рабочее место - \$3 500. Стоимость внедрения составляет 100-250% стоимости системы.
«Галактика»	Галактика (Россия)	Нефтегазовая отрасль, машиностроение, химия, энергетика, металлургия и др.	от 4 месяцев до 1,5 года и более	Лицензия на одно рабочее место около \$350-1200. Стоимость внедрения составляет 50-100% этой суммы.
«1С:ERP Управление предприятием 2»	1С (Россия)	Машиностроение, пищевая промышленность и др.	от 3 до 9 месяцев и более	Лицензия на сто рабочих мест 360 000 руб. Стоимость работ по внедрения 2450 руб./час.
«Парус»	Парус (Россия)	Машиностроение, нефтегазовые компании, предприятия энергетической отрасли	от 4 месяцев до 1 года и более	Стоимость лицензии на одно рабочее место \$1000-2 000. Стоимость внедрения 100-200% цены системы.

Таким образом, на основании проведенного анализа российского рынка ERP-систем можно сделать вывод о том, что наилучшим решением для управления деятельностью предприятия по производству газоаналитической техники будет приобретение ERP-системы «1С: ERP Управление предприятием 2» или же разработка собственного программного продукта.

Литература

1. ФГУП «СПО «Аналитприбор». Продукция, [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.analitpribor-smolensk.ru/products/> (дата обращения: 27.09.2016).
2. Федеральная служба государственной статистики РФ, [Электронный ресурс], Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/ (дата обращения 27.09.2016).
3. Грошев, А.С. Управление планированием и производством изделий в ERP-системе: учебное пособие / А.С. Грошев. - 2-е изд. - М.; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 162 с. [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430047> (01.10.2016).

*А.В. Борисов, к. т. н, доц.; Е.В. Сливкина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СИНТЕЗ ДВИЖЕНИЯ ЭКСОСКЕЛЕТА НА ОСНОВЕ ЗАДАНИЯ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ

В некоторых случаях, например для людей с проблемами опорно-двигательного аппарата, для тренировки мышц при восстановлении двигательных функций человека или в спорте для тренировок с помощью экзоскелета и его частей необходимо, чтобы управление осуществлялось с помощью заданного алгоритма. Рассмотрим алгоритм управления на основе периодических функций, обеспечивающих антропоморфность походки экзоскелета [2]. Зададим функции изменения углов и длин звеньев механизма следующим образом.

Покажем возможности данного способа управления на модели экзоскелета, состоящего из пяти подвижных абсолютно твердых звеньев, представленную на рисунке 1.

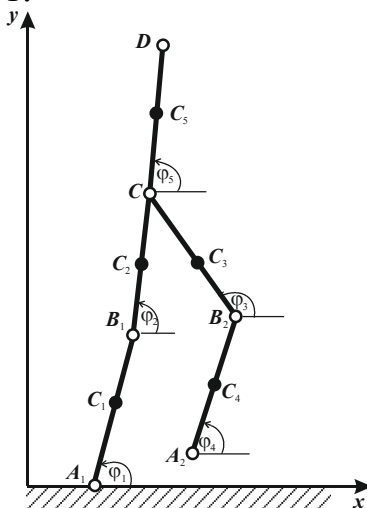


Рисунок 1 – Модель экзоскелета из пяти подвижных абсолютно твердых звеньев

Все звенья экзоскелета считаются весомыми, абсолютно твердыми.

Функции, описывающие кинематику звеньев, должны удовлетворять условиям антропоморфной ходьбы [2]. Аналитически зададим функции изменения углов и длин звеньев механизма в следующем виде.

$$\begin{aligned}\varphi_1(t) &= \pi/2 + j_1 \sin[f_1 - (1 - \cos[2\pi t/T])\pi/2], \\ \varphi_2(t) &= \pi/2 + j_2 \cos[f_2 - (1 - \cos[2\pi t/T])\pi/2], \\ \varphi_3(t) &= \pi/2 + j_3 \cos[f_3 - (1 + \cos[2\pi t/T])\pi/2], \\ \varphi_4(t) &= \pi/2 + j_4 \sin[f_4 - (1 + \cos[2\pi t/T])\pi/2], \\ \varphi_5(t) &= \pi/2.\end{aligned}\quad (1)$$

где T – период ходьбы, j_i и f_i ($i = 1, \dots, 4$) – параметры ходьбы.

Графики задаваемых аналитически углов, угловых скоростей и угловых ускорений представлены на рисунке 2.

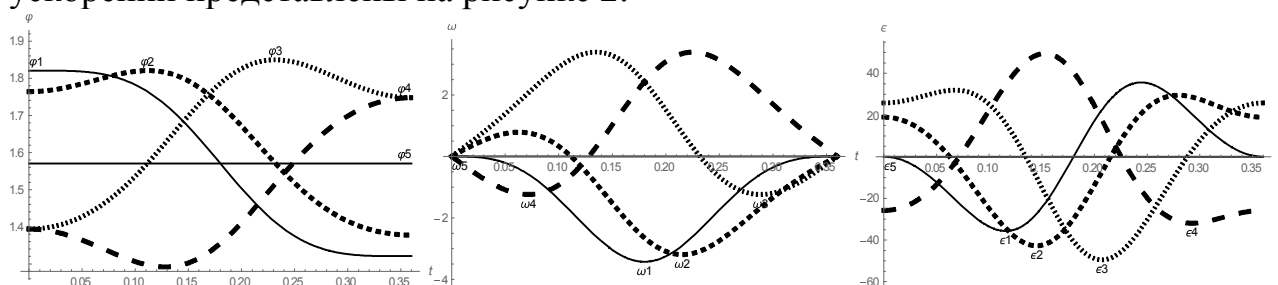


Рисунок 2 – Графики задаваемых аналитически углов, угловых скоростей и угловых ускорений

Интерес представляет визуализация движения, которое получается по данным периодическим функциям. Приведем текст программы в среде системы компьютерной математики «Mathematica», создающий анимацию движения.

```
ss={l1->0.385,l2->0.477,l3->0.477,l4->0.385,l5->0.771,};
be={a1->0.25,a2->0.279,b1->0.25,b4->0.279,d1->Pi/2,d2->Pi/2,d3->0.884,d4
->0.687,T->0.72,omega->2*Pi/0.72};
tk=0.36
φ1e[t_]:=(Pi/2)+b1*Sin[d2-Pi*(1-Cos[omega*t])/2]/.be;
φ2e[t_]:=(Pi/2)+a1*Cos[d4-Pi*(1-Cos[omega*t])/2]/.be;
φ3e[t_]:=(Pi/2)+a2*Cos[d3-Pi*(1+Cos[omega*t])/2]/.be;
φ4e[t_]:=(Pi/2)+b4*Sin[d4-Pi*(1+Cos[omega*t])/2]/.be;
φ5e[t_]:=Pi/2;
φ10t=φ1e[0];φ20t=φ2e[0];φ30t=φ3e[0];φ40t=φ4e[0];φ50t=φ5e[0];
fi1=φ1e;
fi2=φ2e;
fi3=φ3e;
fi4=φ4e;
fi5=φ5e;
Fi1[t_]:=fi1[tk/2+Sign[t]*(-tk/2+Abs[t]-tk*IntegerPart[Abs[t]/tk])];
Fi2[t_]:=fi2[tk/2+Sign[t]*(-tk/2+Abs[t]-tk*IntegerPart[Abs[t]/tk])];
Fi3[t_]:=fi3[tk/2+Sign[t]*(-tk/2+Abs[t]-tk*IntegerPart[Abs[t]/tk])];
Fi4[t_]:=fi4[tk/2+Sign[t]*(-tk/2+Abs[t]-tk*IntegerPart[Abs[t]/tk])];
```

```

Fi5[t_]:=fi5[tk/2+Sign[t]*( -tk/2+Abs[t] -tk*IntegerPart[Abs[t]/tk))];
PS5[t_]:=If[t>0,IntegerPart[t/tk],IntegerPart[t/tk] -1];
risPS=Plot[PS5[3*t],{t,0,tk},Background->RGBColor[1,0,1],AxesLabel->"This
is",PlotStyle->{Hue[0.5],Thickness[.01]},DisplayFunction->Identity]
PS7[t_]:=If[t>0,IntegerPart[t/tk],IntegerPart[t/tk] -1];
Lk7=Abs[l1*Cos[φ10t]+l2*Cos[φ20t] -l3*Cos[φ30t] -l4*Cos[φ40t]]/.ss
robotzwet7[fi1_,fi2_,fi3_,fi4_,fi5_,a_,b_,t_]:=
{RGBColor[Mod[Abs[PS7[t] -1],2],0,Mod[Abs[PS7[t]],2]],Thickness[.02],Line[{ {
Lk7*PS7[t]+0,0},{Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1],l1*Sin[fi1]},{Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l
2*Cos[fi2],l1*Sin[fi1]+l2*Sin[fi2]} }],RGBColor[Mod[Abs[PS7[t]],2],0,Mod[Abs[P
S7[t] -1],2]],Thickness[.02],Line[{ {Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l2*Cos[fi2],l1*Sin[fi1
]+l2*Sin[fi2]},{Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l2*Cos[fi2] -l3*Cos[fi3],l1*Sin[fi1]+l2*Si
n[fi2] -l3*Sin[fi3]},{Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l2*Cos[fi2] -l3*Cos[fi3] -l4*Cos[fi
4],l1*Sin[fi1]+l2*Sin[fi2] -l3*Sin[fi3] -l4*Sin[fi4]} }],RGBColor[0,1,0],Thickness[
.05],Line[{ {Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l2*Cos[fi2]+l5*Cos[fi5],l1*Sin[fi1]+l2*Sin[fi2
]+l5*Sin[fi5]},{Lk7*PS7[t]+l1*Cos[fi1]+l2*Cos[fi2],l1*Sin[fi1]+l2*Sin[fi2]} } ]} /.ss
RBF7[fi1_,fi2_,fi3_,fi4_,fi5_,a_,b_,t_]:=Graphics[{ {robotzwet7[fi1,fi2,fi3,fi4,fi5,a,b,
t]}},PlotRange->{{-1,2},{-1,2}},AspectRatio->1,GridLines-
>Automatic,DisplayFunction->Identity]
Show[RBF7[Fi1[0],Fi2[0],Fi3[0],Fi4[0],Fi5[0],0.2',0.18',0.'],DisplayFunction->$Di
splayFunction]

```

Кадры анимации получившейся походки представлены на рисунке 3.

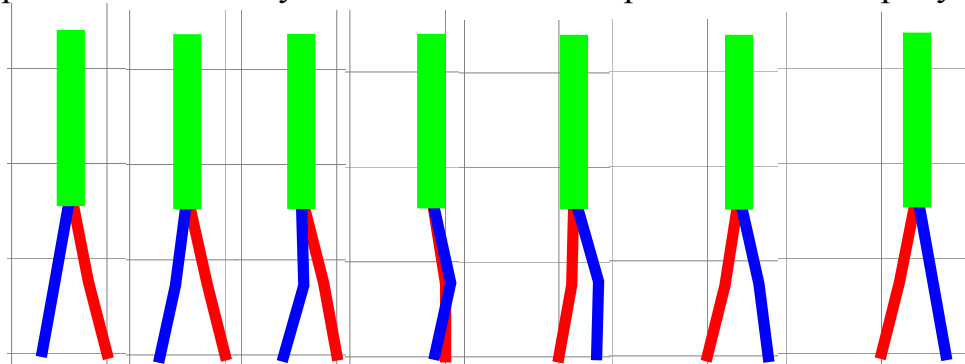


Рисунок 3 – Кадры анимации получившейся походки

Экспорт анимации осуществляется следующими командами.

```

SetDirectory["C:\\DDiss"]
rbtmovie=Res7[30];
Export["Robot5zwtAbsTvZvenja.gif", rbtmovie];

```

В итоге, разработаны методы аналитического задания функций, определяющих положение звеньев антропоморфного механизма или экзоскелета в любой момент времени. При выборе вида функций учитывались ограничения, связанные с периодичностью, антропоморфностью и комфортабельностью получающихся движений механизма. Дальнейшим развитием данного исследования будет решение первой задачи динамики на

основании предложенной в данной статье кинематики движения механизма, то есть определение управляющих моментов, которые необходимо приложить в шарнирах данного механизма, чтобы получить показанное в данной работе движение.

Литература

1. Борисов А. В. Автоматизация проектирования стержневых экзоскелетов / А. В. Борисов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 10. – С. 29-33.
2. Бербюк В. Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем / В. Е. Бербюк. – Киев : Наукова Думка, 1989. – 192 с.

А.В. Борисов, к.т.н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛЬ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ЗВЕНА ЭКЗОСКЕЛЕТА⁴

В работах [1-4] исследованы теоретические модели звена переменной длины экзоскелета, антропоморфного робота и опорно-двигательного аппарата человека. Показано несоответствие реальности абсолютно твердых звеньев, используемых на современном этапе создания моделей экзоскелетов. Однако рассматриваемые в вышеуказанных работах теоретические модели звена переменной длины не могут быть непосредственно реализованы при изготовлении экзоскелета. В данной статье предлагается модель телескопического звена экзоскелета, которая может быть внедрена при производстве экзоскелетов.

Рассмотрим телескопическую модель звена, которая состоит из двух весоных абсолютно жестких частей – штока и корпуса, совершающих движение относительно друг друга вдоль прямой, проходящей через его начало и конец (рисунок 1). Один из шарниров жестко соединен со штоком, второй с корпусом. Под действием реакций со стороны опоры и соседних стержней происходит движение штока внутри корпуса, тем самым обеспечивается изменение длины звена.

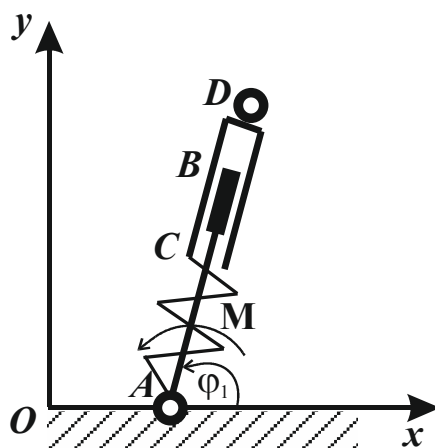


Рисунок 1 – Модель звена экзоскелета в виде телескопического элемента

Для исследования плоского движения экзоскелета со звеньями переменной

⁴Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 15-41-03224р_центр_А, № 16-41-670740 р_а)

длины в одноопорной фазе введем неподвижную правую декартову систему координат xuz с началом в точке O . Рассмотрим плоскость xu , в которой происходит движение центра масс.

Система имеет два весомих абсолютно жестких звена: AB и CD . На рисунке 1 схематично изображено звено AD и введены соответствующие обозначения. Длины звеньев $AB = l_1$, $CD = l_2$. Переменность длины звена реализуется за счет относительного движения вдоль направления AD звена CD относительно закрепленного в неподвижном шарнире A звена AB . Пружинный элемент на участке AC моделирует восстанавливающую силу. Сама пружина считается невесомих. Также пренебрегаем силой трения штока AB о корпус CD .

Положение однозначно определяется углом φ_1 и переменной длиной участка стержня $\xi_1(t) = AC$. Рассматриваемая система имеет две степени свободы. Обозначим через M_1 момент, развиваемый в шарнире A , являющийся управлением и определяющим движение звена. Изменение длины участка стержня $\xi_1(t)$ является следствием сил, работающих на растяжение-сжатие вдоль стержня, вызывающих изменения диаметров суставов, перекачиваний в суставе и других факторов, вызывающих изменение длины звена.

Масса штока AB равна m_1 момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения I_1 , для корпуса CD масса равна m_2 , момент инерции относительно оси, проходящей через его конец перпендикулярно плоскости движения I_2 .

Тогда кинетическая энергия звена будет складываться из энергии звена AB и CD .

$$T = T_{AB} + T_{CD}, \quad (1)$$

$$T_{AB} = (m_1 n_1^2 l_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2) / 2,$$

$$T_{CD} = [\dot{\xi}_1^2 m_2 + \dot{\varphi}_1^2 m_2 (\xi_1^2 + \xi_1 l_2) + \dot{\varphi}_1^2 I_2] / 2.$$

Дифференциальные уравнения движения, составленные с помощью уравнений Лагранжа второго рода, имеют вид.

$$(I_1 + I_2 + m_1 l_1^2 n_1^2 + m_2 (l_2 \xi_1 + \xi_1^2)) \ddot{\varphi}_1 + g(m_1 l_1 n_1 + m_2 (l_2 + \xi_1)) \cos \varphi_1 + m_2 (l_2 + 2\xi_1) \dot{\xi}_1 \dot{\varphi}_1 = M_1, \quad (2)$$

$$-m_2 (l_2 + 2\xi_1) \dot{\varphi}_1^2 / 2 + g m_2 \sin \varphi_1 + m_2 \ddot{\xi}_1 = -k_1 \Delta \xi_1. \quad (3)$$

Введем силу сопротивления, моделирующую вязкое трение между штоком и корпусом в виде $-\mu \dot{\xi}_1$. Тогда первое уравнение (2) системы дифференциальных уравнений движения не изменится, а второе уравнение системы (3) изменится и примет вид:

$$-m_2 (l_2 + 2\xi_1) \dot{\varphi}_1^2 / 2 + g m_2 \sin \varphi_1 + m_2 \ddot{\xi}_1 = -k_1 \Delta \xi_1 - \mu \dot{\xi}_1. \quad (4)$$

Для исследования плоского движения экзоскелета, состоящего из двух телескопических звеньев в одноопорной фазе, представленного на рисунке 2, введем неподвижную правую декартову систему координат xuz с началом в точке O . Движение центра масс при этом происходит в плоскости xOy .

В точке A имеется шарнирная связь с опорой. В реальности при ходьбе

антропоида данная связь реализуется в виде неудерживающей импульсной связи. Она может мгновенно накладываться и сниматься. За счет имеющихся между стопой конечности и опорой сил трения в зоне контакта отсутствует проскальзывание. Необходима сила трения для обеспечения отсутствия проскальзывания.

Координаты центров масс звеньев должны вычисляться, исходя из конкретной конструкции звена и используемых материалов. Предполагаем, что центр масс звена находится на отрезке AB и заключен между точками A и B , но не совпадает с ними. При таких предположениях в модели координаты центров масс звеньев аппроксимируем следующим образом:

$$\begin{aligned} x_{C1} &= l_1 n_1 \cos \varphi_1, & y_{C1} &= l_1 n_1 \sin \varphi_1; \\ x_{C2} &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 n_2 \cos \varphi_2, & y_{C2} &= l_1 \sin \varphi_1 + l_2 n_2 \sin \varphi_2. \end{aligned} \quad (5)$$

За счет изменения длины звена $l_i = l_i(t)$ ($i = 1, 2$) положение центров масс звеньев изменяется относительно звеньев. Обозначение n_i – это постоянный множитель, определяющий положение центров масс звеньев, исходя из конструкции звена. При сделанных выше предположениях его значение находится в пределах $0 < n_i < 1$, ($i = 1, 2$).

Активными силами, действующими в шарнирах звеньев, являются управляющие моменты, обеспечивающие как поддержание конфигурации системы, так и синтез заданного перемещения.

При постановке ноги на опору происходит удар. В результате звенья уменьшают свою длину до минимального значения. Восстановление длины звена происходит в фазе переноса конечности.

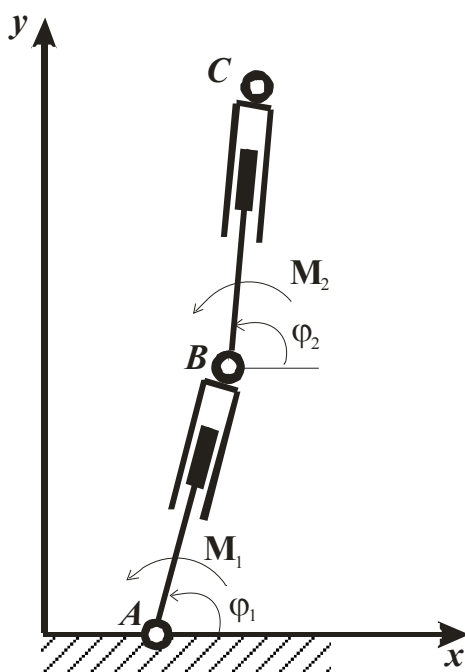


Рисунок 2 – Модель экзоскелета с двумя телескопическими подвижными звеньями и весовыми шарнирами-суставами

При исследованиях данной модели были сделаны следующие предположения: шарниры-суставы считаются идеальными; управляющие

моменты реализующимися мгновенно, без задержек, и по величине являются достаточными для реализации движения. Связь с опорной поверхностью считаем мгновенно накладывающейся и снимающейся, обеспечивающей отсутствие проскальзывания.

Составляя уравнения, описанным выше способом, получаем систему дифференциальных уравнений движения. Приведем ее в обобщенном векторно-матричном виде.

$$\begin{aligned} A(q, \xi) \ddot{q} + B(q, \xi) \dot{q}^2 + gC(q)(l + \xi) + 2D(q, \xi)(\dot{\xi} \dot{q}) + E(q, \xi) \ddot{\xi} &= F(q, \xi), \\ G(q, \xi) \ddot{q} + H(q, \xi) \dot{q}^2 + gK(q) + 2L(q, \xi)(\dot{\xi} \dot{q}) + P(q, \xi) \ddot{\xi} &= S(k, \xi), \end{aligned} \quad (6)$$

где q – угловые обобщенные координаты $q = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)^T$; ξ – обобщенные координаты, описывающие изменения длины звеньев $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)^T$; l – длины участков звеньев постоянной длины $l = (l_1, \dots, l_n)^T$; $A(q, \xi)$, $B(q, \xi)$, $G(q, \xi)$, $H(q, \xi)$ – матрицы, учитывающие инерционные свойства; $C(q)$, $K(q)$ – матрицы, определяемые моментами силы тяжести; $D(q, \xi)$, $E(q, \xi)$, $L(q, \xi)$, $P(q, \xi)$ – матрицы, учитывающие переменную длину звеньев; $F(q, \xi)$ – матрица-столбец обобщенных сил; $S(k, \xi)$ – матрица-столбец, учитывающая упругие свойства материала звеньев, $\ddot{q}$ – матрица обобщенных ускорений; $\dot{q}$ – матрица обобщенных скоростей, тогда $\dot{q}^2 = (\dot{\varphi}_1^2, \dots, \dot{\varphi}_n^2)^T$; $(\dot{\xi} \dot{q}) = (\dot{\xi}_1 \dot{q}_1, \dots, \dot{\xi}_n \dot{q}_n)^T$ – матрица, составленная из произведений $\dot{\xi} \dot{q}$ при равных индексах.

Система дифференциальных уравнений (6) может быть применена для описания движения модели экзоскелета с любым количеством звеньев.

Таким образом, предложена конструкция звена экзоскелета переменной длины в виде телескопического звена, получена система дифференциальных уравнений движения, описывающих движения многозвенника составленного из таких звеньев. Разработанная модель может быть применена при изготовлении экзоскелета со звеньями, приближенными по функциональным возможностям к звеньям опорно-двигательного аппарата человека и обеспечивающего комфортабельное передвижение в нем.

Литература

1. Борисов А. В. Разработка модели экзоскелета с пониженным расходом энергии на основе использования многокомпонентных деформируемых звеньев и сравнительный анализ с моделью с абсолютно твердыми звеньями / А. В. Борисов, Л. В. Кончина, Л. А. Лётов // Естественные и технические науки. 2014. № 11-12. С. 37-38.
2. Борисов А. В. Автоматизация разработки трехмерных моделей экзоскелетов со звеньями переменной длины / А. В. Борисов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, №12. С. 828-835.
3. Borisov A. V. Elastic analysis of multilayered thick-walled spheres under external load / A. V. Borisov // Mechanika. Kaunas University Of Technology. – 2010. – Nr. 4(84). – P. 28-32.
4. Borisov A. V. Twelve-Link Exoskeleton with Biological Endoskeleton Properties / A. V. Borisov, L. V. Konchina, A. V. Chigarev // Journal of Machinery Manufacturing and Automation. – Sept. 2015, Vol. 4 Iss. 3, PP. 23-37. Режим доступа: <http://www.academicpub.org/jmma/paperInfo.aspx?PaperID=16611>.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

В настоящее время существует множество сфер деятельности, которые требуют оперативного участия человека, выражаемого в управлении сложными технологическими процессами и взаимодействующего с различными программно-аппаратными средствами.

Как показывает опыт, эффективность и производительность работы человека-оператора зависит от множества факторов различной природы (психофизическое состояние, организация труда, оснащение рабочего места и т.д.). В этой связи сегодня разрабатываются различные инструменты, основой задачей которых является снижение влияния данных факторов на принимаемые человеком-оператором управленческие решения.

Для анализа эффективности деятельности человека-оператора могут использоваться показатели быстродействия и надежности. Первая группа показателей отражает способность оператора выполнять свои функциональные обязанности в определенных условиях труда, а вторая – безошибочность, готовность, восстанавливаемость, своевременность и точность его действий.

В целом же, процесс деятельности человека-оператора можно представить в виде последовательного выполнения ряда этапов (рисунок 1).

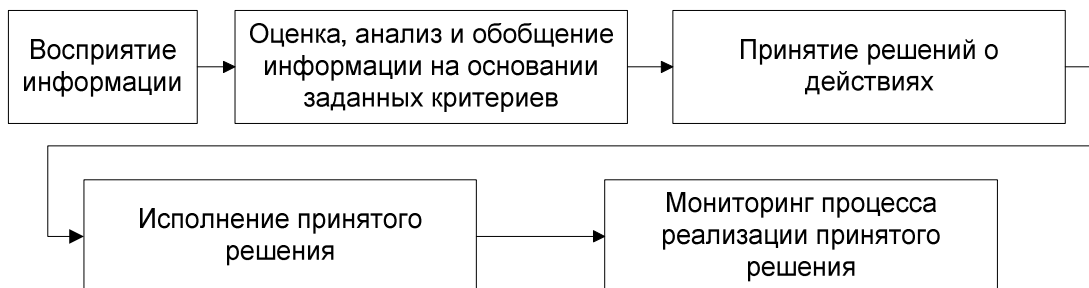


Рисунок 1 – Основные этапы деятельности человека-оператора

С точки зрения обеспечения безопасности труда особое место занимают непредвиденные ситуации, которые вызывают у оператора особые стрессовые состояния. В результате на любом из представленных на рисунке 1 этапов деятельности человека-оператора могут возникать различные ошибки (так называемые преходящие отказы), вызывающие нарушение работоспособности управляемой системы.

В общем, причины, приводящие к возникновению различных ошибок, можно разделить на следующие группы:

- личностные, зависящие от психологических и физических особенностей человека-оператора (например, несоответствие психическим возможностям переработки информации, недостаток навыка, внимания и т.д.);
- организационные, связанные с рабочим местом, организацией труда,

подготовкой оператора и т.д.

Эффективность деятельности человека-оператора может оцениваться на основании результатов его деятельности с учетом того, какие физические и психические затраты стали ценой обеспечения требуемого уровня качества его действий. В свою очередь, это позволяет прогнозировать не только эффективность взаимодействия оператора и системы, но и состояния самого человека при длительных сроках работы.

Выходные эргономические показатели могут быть представлены обычными показателями результативности труда, которые зачастую подразделяются на три класса: точностные, временные и надежностные. С их помощью можно проводить оценку влияния качества того или иного вида операторской деятельности на производительность всей системы, что в результате позволяет провести рационализацию человеко-машинного взаимодействия. В этой связи при выборе инструментов, позволяющих повысить эффективность и результативность деятельности оператора, необходимо учитывать также возможность проведения анализа на основании данных показателей.

На сегодняшний момент времени в большинстве систем, используемых диспетчерами, функции принятия решений и выработки управляющих воздействий полностью выполняются человеком. Существует отдельный ряд систем, где человек-оператор выступает в роли системообразующего элемента (например, система безопасности трубопроводного предприятия).

Результаты изучения современных тенденций совершенствования подобного рода систем и технологий обработки информации позволили сделать вывод о необходимости выделения человека из процесса принятия решений и управления. Это обосновывается потребностью в снижении возможности возникновения рисков и катастрофических ситуаций вследствие неверного или несвоевременного принятия управленческого решения оператором или отсутствия возможности его участия в процессе управления.

Причины катастрофических ситуаций по вине человека довольно разнообразны, однако наиболее значимой является информационный стресс, который трудно устранить с технической точки зрения ввиду низкой степени проработки данного вопроса и сложности его формализации для каждого отдельного оператора. В условиях информационного стресса человек теряет способность адекватно реагировать на текущую обстановку в процессе выполнения определенных операций по обработке информации.

Таким образом, становится актуальным вопрос о разработке эффективного инструмента, позволяющего снизить влияние как внешних, так и внутренних факторов на процесс принятия человеком-оператором решений.

На рисунке 2 представлена модель системы поддержки принятия решений в процессе организации деятельности человека-оператора.

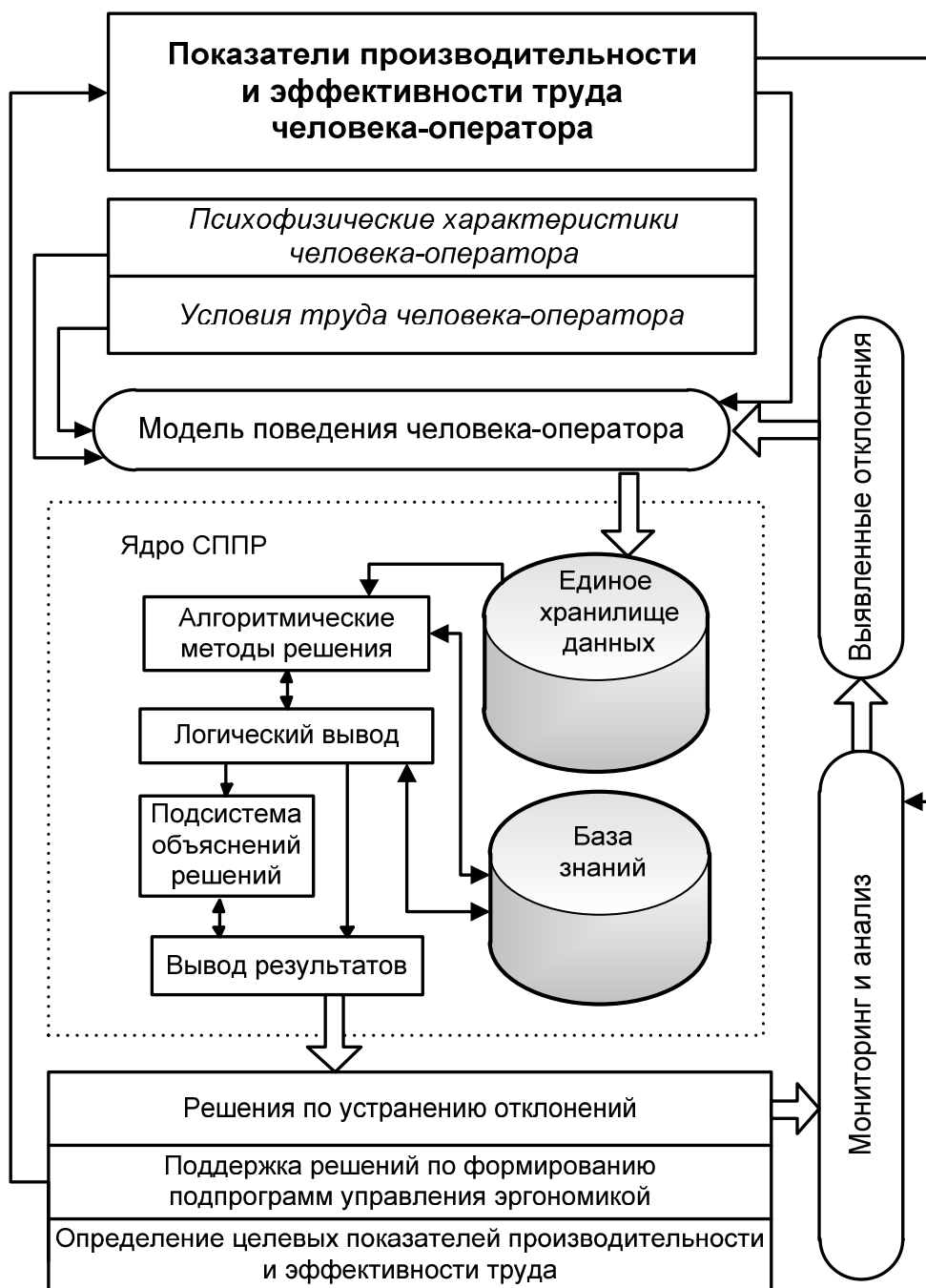


Рисунок 2- Модель системы поддержки принятия решений при осуществлении деятельности человека-оператора.

Из рисунка 2 видно, что основное хранилище данных содержит информацию, которая поступает в систему из модели поведения человека-оператора. Данная модель представляет собой тренажер, который моделирует процесс деятельности диспетчера. Входными данными для ее построения выступает информация о текущих значениях показателей производительности и эффективности труда, психофизические характеристики человека, характеристики условий труда, а также выявленные в процессе мониторинга отклонения фактические значения показателей производительности и эффективности труда от целевых.

В дальнейшем информация о построенных моделях сохраняется в хранилище и посредством заложенных в системе алгоритмических методов, а

также базы знаний (чаще всего представляются системами продуктов и семантической сетью [1,2]) в блоке логического вывода формируются конкретные решения. С помощью подсистемы пояснений и описаний показывается, каким образом было получено решение, и какие знания были при этом использованы. Подсистема же вывода передает конкретные решения и характеристики необходимые для принятия решений, направленных на повышение производительности и эффективности деятельности человека-оператора.

В общем, вырабатываемые решения при этом можно разбить на три класса:

- определение показателей производительности и эффективности;
- поддержка решений по формированию программ эргономики;
- решения по устранению отклонений.

Таким образом, данная система принятия решений может стать эффективным инструментом при формировании оптимальных условий функционирования человека-оператора.

Литература

1. Дли М.И., Стоянова О.В.Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21-28.
2. Мишин С.А., Мишин А.В.Представление формальных моделей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Теория и практика современной науки. 2015. № 5 (5). С. 266-271.

*О.В. Булыгина, к.э.н., доц.; Е.А. Назарова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ РЕИНЖИРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Приборостроение играет важную роль в социально-экономическом развитии страны. В настоящее время она является поставщиком высокотехнологичных изделий (радиоизмерительные, электроизмерительные приборы, а также приборы, измеряющих показатели окружающей среды), обеспечивая различные потребности многих отраслей народного хозяйства.

Основные показатели развития отечественного приборостроения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Текущее состояние приборостроения в Российской Федерации

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014
Динамика индекса производства, %	118,9	111,9	106,4	99,0	99,5
Объем отгруженных приборов, млрд.руб.	1131,5	1329,3	1481,6	1535,8	1311,0
Доля инвестиций в основной капитал, %	56,0	48,2	36,1	50,4	38,1

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что с каждым годом показатели деятельности приборостроения снижаются. Так, основными причинами

падения индекса производства могут послужить: низкий уровень загрузки производственных мощностей, сокращение числа работающих, снижение доступности кредитного финансирования. Снижение объемов отгруженных приборов связано с ухудшением инвестиционного климата в стране [1].

В Смоленской области приборостроение исторически активно развивалось, и сегодня оно является одной из ведущих наукоемких отраслей, обеспечивая около 21% от объема производства машиностроительной продукции [2].

Одним из крупнейших приборостроительных предприятий в данном регионе является ФГУП «СПО «Аналитприбор», производящее газоаналитическое оборудование, реализуемое на внутреннем и внешнем рынках. Оно осуществляет крупносерийное производство, характеризующееся относительно постоянным выпуском продукции большими партиями, а также изготовление продукции под заказ (как правило, государственные заказы). Такой подход к организации производственного процесса позволяет, с одной стороны, экономить на масштабах деятельности, а с другой – предоставлять потребителям адаптированные под его нужды изделий.

Важную роль в производственно-хозяйственной деятельности играет организация эффективного взаимодействия с клиентами, поскольку в течение одного рабочего дня на ФГУП «СПО «Аналитприбор» поступают несколько заказов, которые должны быть оперативно обработаны и выполнены «точно в срок». На рисунке 1 представлен процесс получения и выполнения заказа (в нотации IDEF0).

Следует отметить, что на данный момент процесс учета и контроля клиентских заказов на ФГУП «СПО «Аналитприбор» автоматизирован. Так, автоматизация данного процесса осуществлена при помощи СУБД Oracle и специального приложения, которое разработано специалистами предприятия на базе среды программирования *Delphi*. Однако используемая информационная система требует регулярного обновления, интерфейс не удобен в виду нагромождения информации.

Для повышения эффективности работы отдела продаж целесообразно провести инжиниринг информационных систем, используемых для автоматизации процессов взаимодействия с клиентами. На сегодняшний день существует несколько десятков решений для автоматизации предприятий, сферой деятельности которых является производство и продажа. Однако специфика деятельности ФГУП «СПО «Аналитприбор» не позволяет использовать готовые программные продукты, потому можно предложить для автоматизации деятельности отдела продаж использовать платформу «1С: Предприятие», которая позволяет создавать приложение непосредственно под нужды предприятия.

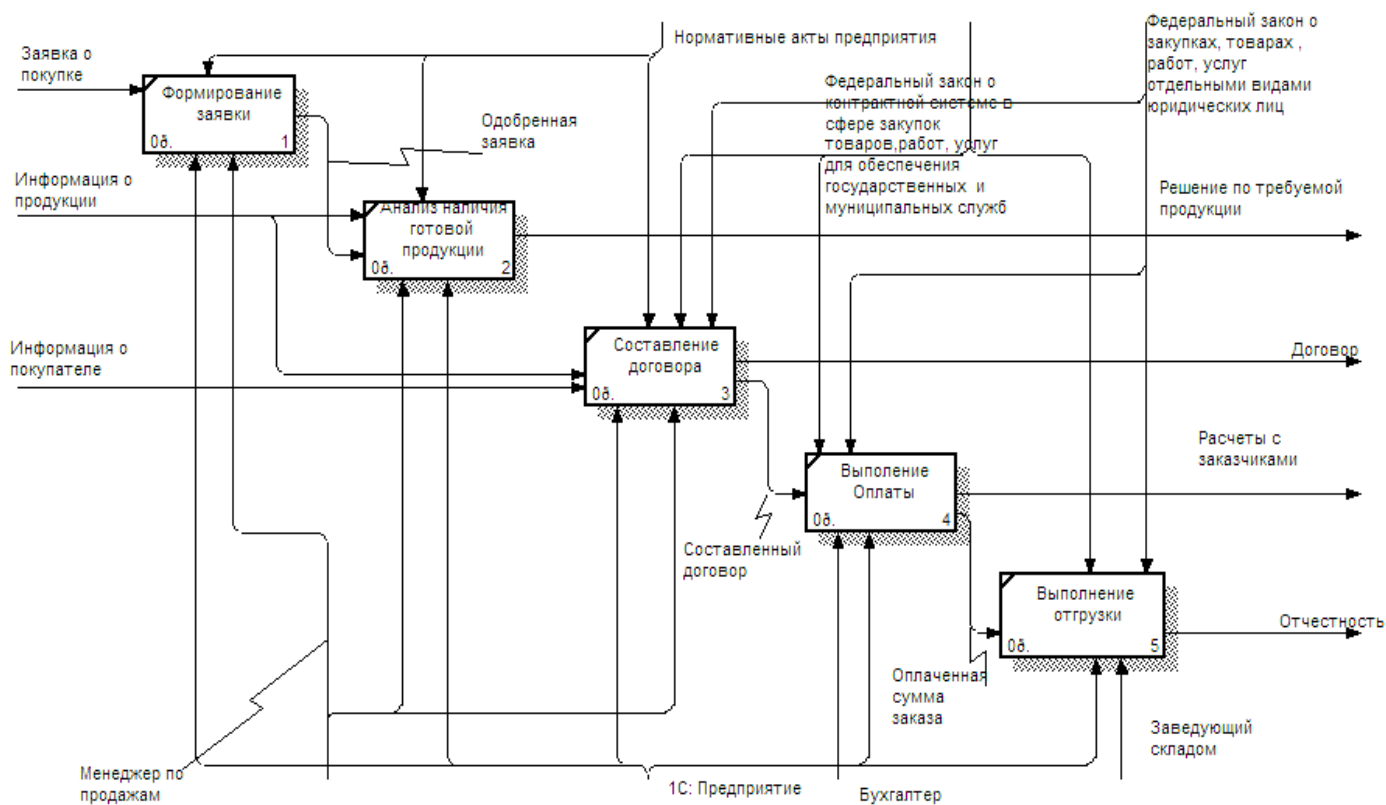


Рисунок 1 – Процесс получения и выполнения заказа

Перечень возможностей управления заказами, исполненный в конфигурации, позволяет наилучшим образом размещать заказы покупателя и отражать их в планах различных подразделений предприятия в соответствии с принятой стратегией исполнения заказов и схемами работы (например, организация деятельности склада). Так, при регистрации заказа требуемое изделие будет автоматически забронировано на складах предприятия, а при отсутствии необходимого количества будет сформирована заявка на его производство.

Автоматизация отдела продаж, проведенная с использованием конфигуратора 1С: Предприятие, позволит в одном информационном пространстве вести полноценный учет, сократит число рутинных операций при занесении заказов в базу данных и обеспечит оперативность их обработки. В результате предприятие получит эффективный инструмент для создания качественной базы лояльных покупателей, а также передовую технологию по управлению взаимоотношениями с клиентами.

Литература

1 Гвоздева Е. А., Викулина А. С., Голубицкая М. П. Анализ общего состояния машиностроительной отрасли России // Экономика и современный менеджмент: теория и практика: сб. ст. по матер. XLVII междунар. науч.-практ. конф. № 3(47). – Новосибирск: СибАК, 2015.

2 Исследование инвестиционного климата в Смоленской области, разработка мер, обеспечивающих благоприятные условия предпринимательской деятельности и улучшение инвестиционного климата в регионе: отчет об инвестиционной стратегии Смоленской области до 2025 года. Смоленск-Москва, 2014. 431 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА CASE-СРЕДСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

В последние десятилетия сформировалось новое направление в программировании – *CASE (Computer Aided Software Engineering)*-технологии, используемые для автоматизации ряда этапов процесса разработки и сопровождения программного обеспечения (ПО).

Основное назначение современных *CASE*-средств связано с сопровождением таких процессов проектирования прикладного ПО, как формулировка требований, создание баз данных, генерация кода, тестирование, контроль качества, документирование, конфигурационное управление и т.д.

На рисунке 1 представлены примеры *CASE*-средств, решающих различные задачи в области создания программного обеспечения.

Традиционно *CASE*-средство состоит из следующих элементов:

- методология (*Method Diagrams*), определяющая общий графический язык и правила работы с ним;
- графические редакторы (*Graphic Editors*), предназначенные для рисования диаграмм;
- генератор (*Low Case*), формирующий по графическому представлению модели исходный код для разных платформ;
- репозиторий, предназначенный для хранения результатов работы разработчиков.

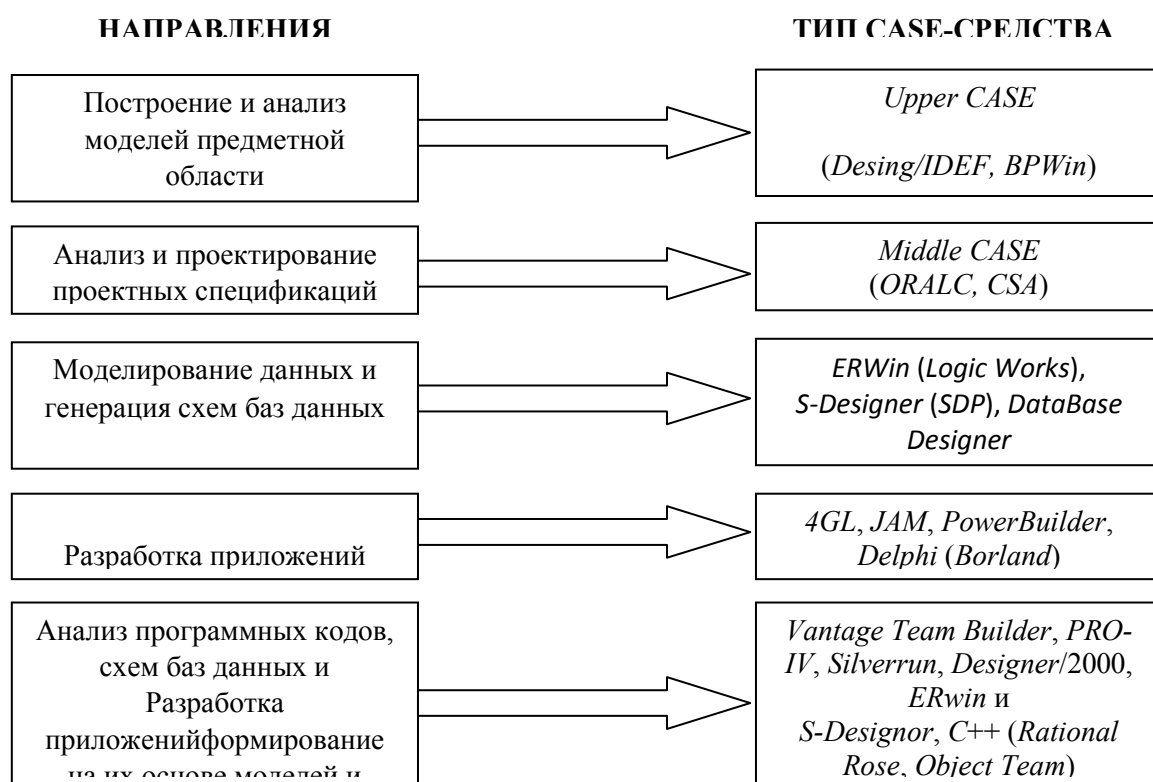


Рисунок 1 – Основные направления применения *CASE*-средств

Как показывает опыт, в процессе использования *CASE*-средств существенно модифицируется жизненный цикл информационных систем. В общем, жизненный цикл ПО состоит из следующих этапов:

1. Анализ и планирование требований к продукту, в рамках которого определяются функциональные требования и информационные потребности.

2. Проектирование. Сначала дополняются и уточняются требования к продукту, устанавливаются правила разграничения доступа, определяется перечень оформляемой документации. После детального определения состава процессов оценивается количество функциональных элементов разрабатываемого продукта и принимается решение о разделении на подсистемы. *CASE*-средства используются для быстрого получения работающих прототипов приложений. Результатом данного этапа является общая информационная модель, функциональные модели системы в целом и подсистем, которые реализуются отдельными командами разработчиками, определенные с помощью *CASE*-средств интерфейсы, прототипы отчетов, экранов, диалогов и т.д.

3. Построение. Непосредственно выполняется разработка приложения, которая производится итеративно на основе полученных на предыдущем этапе моделей, а также требований, носящих нефункциональный характер. Программный код частично формируется с помощью автоматических генераторов, получающих информацию из репозитория *CASE*-средств. Пользователи на данном этапе оценивают получаемые результаты и вносят коррективы. Тестирование системы производится в процессе разработки. После окончания работ каждой команды разработчиков осуществляется интеграция частей, формируется полный программный код, производится тестирование совместной работы приложения. Результатом данного этапа является готовая информационная система, удовлетворяющая всем требованиям.

4. Внедрение, параллельно с которым производятся организационные изменения и обучение пользователей.

В основном, *CASE*-средства базируются на методологиях структурного или объектно-ориентированного проектирования и анализа, которые используют спецификации в виде текстов или диаграмм для описания архитектуры программных средств, внешних требований, динамики поведения системы, связей между моделями. Данные методологии обеспечивают наглядное и строгое описание проектируемой системы.

Структурный подход основывается на принципе алгоритмической декомпозиции с выделением функциональных элементов и установления строго порядка выполнения действий. В то же время объектно-ориентированный подход основывается на декомпозиции объектов с описанием поведения системы в терминах их взаимодействия [1, 3] (например, унифицированный метод *Unified Modeling Language (UML)*, различные версии которого разработаны Д. Рамбо, Г. Буч, И. Джекобсон).

Сегодня инструментальные средства, создаваемые для структурных методов разработки, переориентируются на объектно-ориентированные

методы. Данная тенденция объясняется следующими возможностями, которые присущи объектно-ориентированным методам:

- возможность собрать программную систему из готовых компонент, которые могут быть использованы повторно;
- накопление проектных решений в виде библиотек классов, основанных на механизмах наследования;
- простота внесения в проекты изменений за счет инкапсуляции данных в объектах;
- быстрая адаптируемость приложений к изменяющимся условиям за счет использования свойств полиморфизма и наследования;
- возможность организовать параллельную работу проектировщиков, аналитиков и программистов.

Одним из ключевых недостатков структурного подхода является однонаправленность информационных потоков, а также неразвитая обратная связь. Например, при изменении требований к ПО встает необходимость его полного перепроектирования, в результате которого ошибки, возникшие на предшествующих этапах жизненного цикла, значительно сказываются на стоимости и продолжительности разработки. Другой немаловажной проблемой является неоднородность информационных ресурсов, которые используются в большинстве информационных систем.

Согласно объектно-ориентированной методологии задача разработки программной системы представляет из себя спиральный цикл чередования этапов объектно-ориентированного анализа, проектирования и реализации. Однако на практике организация зачастую имеет совокупность разработанных и внедренных программных средств, которые применялись в процессе разработки новой информационной системы. Проектирование в данном случае основывается на реинжиниринге программных кодов, при котором на основе результатов анализа текстов программ восстанавливается изначальная форма программной среды.

Таким образом, эффективное *CASE*-средство, основанное на объектно-ориентированных методах, должно состоять из четырех главных блоков: анализа, проектирования, разработки и инфраструктуры. Характеристика данных блоков приведена в таблице 1.

Разные статистические обзоры подтверждают факт того, что на современном этапе применение *CASE*-средств в ходе разработки программного продукта является эффективным. Однако процент неудач все равно присутствует и достаточно велик.

Таблица 1 – Характеристика основных блоков *CASE*-средства

Анализ	Среда для создания диаграмм различных моделей и поддержки различных нотаций, которая предоставляет возможности: – добавление пояснительных надписей к диаграммам и в документацию; – создание различных представлений и скрытия ненужных слоев системы в определенных случаях;

	– динамическое моделирование событий в системе; – генерация документации для печати; – динамическая коррекция одной диаграммы из другой.
Проектирование	Среда, которая предоставляет следующие возможности: – определение бизнес-модели и бизнес-правил; – создание пользовательского интерфейса (т.е. поддержка <i>HTML</i>, <i>OLE</i>, <i>ActiveX</i>, <i>Open Doc</i>); – просмотр и выбор элементов и бизнес-объектов для дальнейшего использования в системе; – связь с объектно-ориентированными базами данных и распределенными модулями (т.е. поддержка <i>DCOM</i>, <i>HTML</i>, <i>HOP</i>, <i>COBRA</i>).
Реализация	Среда, предоставляющая следующие возможности: – проверка кода на синтаксическую корректность; – генерирование заголовка программного кода на нескольких объектно-ориентированных языках; – генерирование кода для 4GL и клиент-сервисных продуктов (<i>Visual Age</i>, <i>Power Builder</i>, <i>Visual Works</i>).
Инфраструктура	Хранилище, которое позволяет: – контролировать версии; – блокировать и согласовывать части системы при групповой разработке; – проводить реинжиниринг программного кода, 4GL, клиент-сервисных систем в диаграммы моделей.

С позиции финансовой отдачи можно выделить следующие недостатки применения *CASE*-средств:

- немедленный эффект зачастую не достигается;
- получение значительной выгоды только после успешного их внедрения;
- фактические затраты на разработку и внедрение *CASE*-средств во много раз превышают затраты на их приобретение.

Вследствие различной природы *CASE*-средств будет ошибочно делать какие-либо утверждения относительно удовлетворения тех или иных ожиданий от их внедрения. Существует ряд факторов, усложняющих определение ожидаемого эффекта от применения *CASE*-средств:

- многообразие возможностей и качества *CASE*-средств;
- недостаток опыта применения *CASE*-средств ввиду относительно небольшого времени их использования в различных организациях;
- широкий диапазон предметных областей проектов;
- недостаток детализированных данных и метрик для текущих и ранее выполненных проектов;
- различный уровень интеграции *CASE*-средств в разнообразных проектах.

В настоящее время существует два мнения относительно эффективности применения *CASE*-средств. Первое заключается в том, что фактическая выгода от применения некоторых видов *CASE*-средств может быть получена только не менее чем через год использования. Второе мнение состоит в том, что положительное воздействие может реально получено на этапе эксплуатации информационной системы, когда снизятся эксплуатационные затраты вследствие технологических улучшений.

С другой стороны, успешное использование CASE-средств может обеспечить следующие существенные преимущества:

- положительное влияние на такие факторы, как качество продукции, производительность, документирование, соблюдение стандартов;

- высокий уровень технологической поддержки в ходе сопровождения и разработки ПО;

- приемлемая степень эффективности от инвестиций в CASE-средства.

В результате можно выделить основные критерии выбора и оценки CASE-средств: функциональные характеристики (среда функционирования и функции, которые ориентированы на этапы жизненного цикла и общие функции: управление проектом, управление конфигурацией, документирование); сопровождаемость; надежность; переносимость. Кроме того, общими критериями выступают: эффект внедрения, стоимость и затраты.

Проведенный сравнительный анализ CASE-средств позволил сделать вывод, что на данный момент одним из более близких к оптимальному варианту CASE-средства является семейство *Rational Rose* [2], который содержит в себе средства для реинжиниринга программ, обеспечивающие повторное использование компонент программы в других проектах.

Вариантность продуктов *Rational Rose* обуславливается языком, на котором генерируются коды программ (*PowerBuilder*, *Smalltalk*, *C++*, *SQLWindows*, *ObjectPro* и *Ada*). Например, наиболее распространенным сегодня является язык *C++*. Это вариант дает возможность разрабатывать документацию проекта в виде спецификаций и диаграмм, генерировать программные коды на языке *C++*.

Таким образом, исходя из вышеуказанного, можно сделать вывод, что для рационализации выбора CASE-средства, необходимо, прежде всего, учитывать его функциональные характеристики, сопровождаемость и надежность. Однако не стоит забывать о таких критериях, как стоимость, затраты и эффект внедрения, которые непосредственно влияют на эффективность деятельности, связанной с разработкой программного обеспечения.

Литература

1. Долженко А.И. Технологии командной разработки программного обеспечения информационных систем. М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. 301 с.
2. Соловьев Н., Чернопрудова Е. Системы автоматизации разработки программного обеспечения: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2012. 191 с.
3. Гвоздева Т.В., Баллод Б.А. Проектирование информационных систем. Феникс, 2009.

О.В. Булыгина, к.э.н., доц.; С.С. Фомичев, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ И ГРУППОВОЙ РАБОТЫ

Концепции облачных сервисов появились еще в начале 70-х, когда было предложено использовать удаленный сервер для сложных вычисления и обработки информации. Однако в те годы еще не существовало Интернета тогда, поэтому эта идея была отложена. Впервые эту технологию применили

компания *Amazon.com* в 2006 году.

Облачные хранилища данных - это модель онлайн-хранилища, в рамках которой информация хранится на многочисленных распределённых в сети Интернет серверах, предоставляемых в пользование клиентам. Данные различных видов (текстовые, графические, аудио- и видеофайлы и т.д.) обрабатываются и хранятся в так называемом «облаке», которое с точки зрения клиента представляет собой большой виртуальный сервер [1].

Концептуально работа всех облачных сервисов построена на синхронизации данных, которая предполагает, что любое изменение в «облаке» незамедлительно отражается на всех устройствах, где установлена программа-клиент соответствующего пользователя (персональном компьютере, телефоне, планшете, ноутбуке).

Основными преимуществами облачного хранения данных являются следующие возможности [2]:

- хранение длительное время больших массивов разнотипной информации;
- синхронизация данных на различных устройствах;
- организация совместного доступа к файлам несколькими пользователями (любой файл можно сделать общей с другим пользователем или целой группой, предоставив ему соответствующий уровень пользования документом (полный, частичный и только просмотр));
- автоматическое резервное копирование данных (возможности восстановить файлы при случайном удалении);
- высокий уровень защиты данных (антивирусные программы, системы обнаружения и предотвращения вторжений, шифрование и т.д.);
- дополнительные сервисы (например, календари или планировщики).

С точки зрения степени доступности сегодня реализуется три модели развертывания облачных сервисов:

1) публичные (предоставление облачного сервиса большому количеству клиентов, реализуемого в форме *web*-сайтов или бизнес-систем);

2) частные (собственная облачная инфраструктура организации, которая развернута в рамках корпоративной сети);

3) гибридные (совмещение частного и публичного облаков, в котором реализовано перекрестное использование приложений и данных между ними).

В настоящее время существует достаточное количество публичных облачных сервисов, которые бесплатно предоставляют небольшой объем облачной памяти. Так, по данным на начало 2016 года, сервис *Dropbox* бесплатно предоставляет хранилище объемом 2 Гб, *Google.com* – 15 Гб, российский Яндекс диск – 10 Гб. Кроме того, эти сервисы позволяют также бесплатно увеличивать используемое пространство за счет так называемых «инвайтов» (приглашенных друзей) или установки программы-клиента на персональный компьютер.

Сравнительная таблица наиболее распространенных облачных сервисов

представлена в таблице 1.

Таким образом, можно сделать вывод, что на сегодняшний день наиболее выгодные бесплатные условия предоставляет облачный сервис *Google Drive*, который предоставляет достаточный объем бесплатного облачного пространства, поддерживает передачи и загрузку файлов большого размера, а также обеспечивает широкий набор дополнительных функций.

На основе вышесказанного можно сделать вывод о широких перспективах применения облачных технологий в различных сферах деятельности человека, в том числе и научной, и профессиональной.

Практическое внедрение облачных ресурсов в различных областях информатизации деятельности предприятий и отдельных пользователей вызывает интенсивный рост разработок, посвященных различным аспектам совершенствования облачной концепции.

Данная технология может быть применена в любой сфере деятельности, где есть работа с электронными файлами (например, медицина, преподавание, менеджмент, бухгалтерия и т.д.). Кроме того, особый интерес она может представлять для коллективов специалистов, осуществляющих свою деятельность в рамках проектной организации труда.

Таблица 1 – Сравнение популярных облачных сервисов

Показатель	Dropbox	Яндекс.Диск	Google Drive	Облако Mail.ru	Microsoft OneDrive
Объем бесплатного дискового пространства, Гб	2	10	15	25	5
Максимальный размер загружаемых файлов, Гб	Без ограничений	10	10	2	2 (архив - 4)
Возможность разграничения прав доступа	—	—	+	—	+
Контроль изменений	+	—	+	—	+
Создание общих папок	+	+	+	—	+
Загрузка файлов по почте	+	—	+	—	+
Редактирование файлов через web-интерфейс	—	—	+	—	+
Просмотр файлов через интерфейс	—	+	+	—	+

В результате сотрудники организаций имеют возможность использования интуитивно понятного интерфейса, работать с привычными объектами файловой системы, обеспечивающей хранение и организацию файлов любых общеизвестных типов и каталогов. Программное обеспечение

разрабатываемого комплекса предполагает независимость от пользовательской платформы, для чего применяются кроссплатформенные решения и используется *web*-доступ.

В настоящее время реализуется три модели обслуживания облачных технологий как некоторой услуги:

- Программное обеспечение (SaaS – Software as a Service): использование прикладное ПО провайдера, работающего в облачной инфраструктуре и имеющего доступ из различных клиентских устройств или с помощью тонкого клиента.

- Платформа (PaaS – Platform as a Service): потребитель может использовать облачную инфраструктуру для размещения рабочих приложений для выполнения вычислений и размещения данных.

- Инфраструктура (IaaS – Infrastructure as a Service): использование инфраструктуры с технической точки (серверы, сетевое оборудование и т.д.) для использования вычислительных мощностей, построения центров обработки данных и т.д.

Перспективами использования облачных технологий для организаций можно считать значительное увеличение скорости реагирования организации во внутренней и внешней среде (например, получение IP-адреса сервера для входа), снижение расхождений растущих потребностей в бизнесе и ограниченных возможностей ИТ-отделов (если такие есть), снижение расходов на создание информационных систем и их обслуживание (например, сокращение командировочных расходов за счет реализации удаленной системы работы в режиме видеоконференции) и т.п.

Список литературы

1. Мельникова, Ю.В. Технология тестирования по web-интерфейсу // Ю.В. Мельникова, А.В. Фортунатов, А.А. Харьков / Вавиловские чтения 2012. Материалы конференции, посвященной 120-й годовщине со дня рождения академика Николая Ивановича Вавилова 26-30 ноября 2012г. – Саратов: Научная книга, 2012.
2. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications / Nick Antonopoulos, Lee Gillam. L.: Springer, 2012. 156 p.
3. Медведев А. Облачные технологии: тенденции развития, примеры исполнения // Современные технологии автоматизации. 2013. №2. С. 6-9.

О.В. Булыгина, к.э.н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Управление социально-экономическими объектами в текущих нестабильных условиях является нетривиальной задачей ввиду сложной структуры таких объектов, наличия большого количества контрагентов и высокой динамичности факторов внешней среды, зачастую носящих латентный характер, которые оказывают существенное влияние на их функционирование. В этой связи возникает актуальная задача разработки инструментов оценки

внутреннего состояния социально-экономических объектов и их внешнего окружения, основанной на применении методов интеллектуального анализа слабо- или даже неструктурированной информации [1].

Исследования особенностей функционирования таких объектов позволили сформировать требования, которые необходимо учитывать при выборе метода проведения их анализа:

1) использование естественно-языковых конструкций для описания различных элементов, представляемых в виде категориальных данных;

2) получение результатов с высокой достоверностью в условиях недостатка статистических данных (использование квазистатистики и экспертных мнений);

3) обработка разнотипных метрических данных для получения агрегированного результата;

4) наличие сложных взаимосвязей между факторами, определяющими различные элементы состояния объекта и его окружения.

Указанные особенности обуславливают целесообразность применения логико-лингвистических моделей, позволяющих описывать сложные объекты предметной области и логические связи между их элементами в естественно языковой форме, используемой экспертами для характеристики понятий.

Ввиду того, что при определении состояния социально-экономической объекта необходимо решать задачу классификации, т.е. выбора некоторого значения из заданного множества, то в качестве подхода к проведению интеллектуального анализа таких объектов можно использовать сетевые методы. Сегодня особой популярностью при решении классификационных задач пользуются байесовы и искусственные нейронные сети (ИНС) [2].

Байесова сеть – графическая вероятностная модель, объединяющая множество переменных и их вероятностных зависимостей между ними. Важным преимуществом данного метода является возможность проведения анализа "ЕСЛИ ..., ТО ...". Однако в приложении к решаемой задаче следует отметить такое ограничение для их применения, как необходимость большого объема информации о взаимосвязи переменных, представленной в виде таблиц условных вероятностей.

Отличительной особенностью ИНС, реализующих принципы функционирования биологических нейронов, являются возможность самообучения на основе накапливаемой информации, которая позволяет моделировать динамичные ситуации в открытых системах. На сегодняшний день разработано большое количество топологий ИНС, решающих различные задачи (регрессии, прогнозирования, классификации, кластеризации, восстановления данных и т.д.)

Например, нейронная сеть Хемминга решает задачу классификации на основе поиска наименьшей погрешности для векторов входных данных с помощью расстояния Хемминга (числа бит различия между двумя векторами фиксированной длины). Выходной вектор обучающей выборки содержит классы, к которым принадлежат образы. При обучении входные векторы

распределяются по классам, для которых расстояние между образцовыми и текущим вектором минимально.

Другим типом ИНС, используемым для задач классификации, являются вероятностные нейронные сети, основанных на применении байесовых методов. Выбор класса, к которому принадлежит образец, производится на основе определения плотности вероятности, которая оценивается с помощью ядерной аппроксимации. Так, для неизвестного объекта выбирается класс с наиболее плотным распределением, или большей априорной вероятностью, или наиболее высокой ценой ошибки классификации.

Еще одним сетевым методом решения классификационных задач является гибридная нейро-нечеткая сеть (*ANFIS*), реализующая алгоритм нечеткого логического вывода по алгоритму Сугено и представляющая собой пятислойную нейронную сеть прямого распространения. На вход *ANFIS*-сети поступают различные характеристик элементов внутренней или внешней среды, а выходами являются классы.

В качестве способа иерархического представления сложных структур можно использовать пирамидальные сети, которые в отличие от других сетевых моделей (например, семантических, нейронных, гибридных и т.д.) способны решать классификационные задачи в условиях слабой формализации информации и недостатка статистических данных. Пример нечеткой пирамидальной сети представлен на рисунке 1.

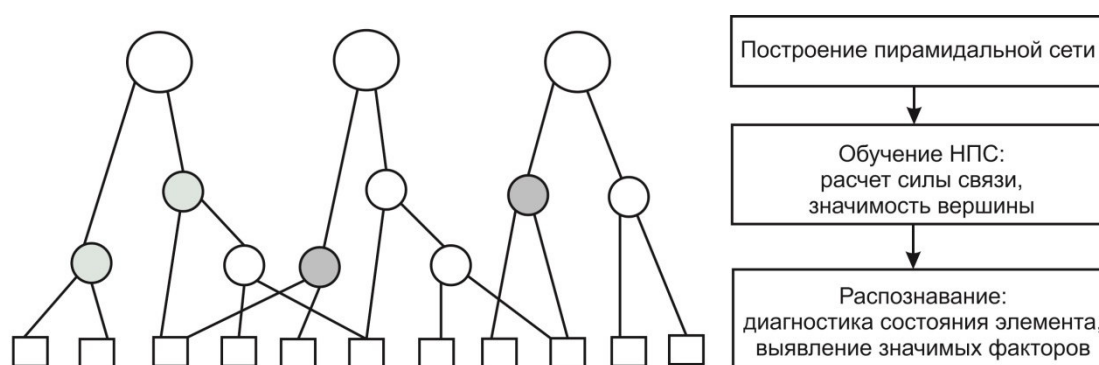


Рисунок 1 – Пример нечеткой пирамидальной сети (НПС)

Структура пирамидальной сети формируется автоматически в зависимости от входной информации (т.е. обеспечивается адаптации структуры сети к особенностям данных), а процесс обучения не зависит от конфигурации сети. Построение пирамидальной сети осуществляется путем формирования ансамблей вершин или пирамид, определяющих структурные взаимосвязи между элементами сети, при этом внесение новой информации приводит к перераспределению связей между вершинами сети.

Работоспособность выше приведенных алгоритмов решения задач классификации проверялась на следующих данных: на основе 11 показателей:

- 1) удельный вес затрат на НИОКР в производственных затратах;
- 2) доля затрат на приобретение патентов в производственных затратах;
- 3) доля нематериальных активов в стоимости основных фондов;

- 4) доля собственных нематериальных активов в их общей стоимости;
- 5) количество зарегистрированных патентов;
- 6) средняя продолжительность разработки инноваций;
- 7) удельный вес доведенных до реализации инноваций;
- 8) доля собственных инноваций в общем объеме разработок;
- 9) показатель инновационности ТАТ;
- 10) доля успешно реализованных инновационных проектов;
- 11) количество рационализаторских предложений в год

необходимо было определить тип интеллектуального потенциала промышленного предприятия, производящего высокотехнологичную продукцию.

В результате испытания указанных методов на реальных данных получены следующие значения процента ошибок (неверного отнесения к правильному классу):

- нейронная сеть Хемминга – 12,5%;
- вероятностная нейронная сеть – 11,3%;
- гибридная нейро-нечеткая сеть – 10,5%;
- нечеткая пирамидальная сеть – 8,7%.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности применения аппарата нечетких пирамидальных сетей для решения задач классификации, связанных с определением состояния сложных социально-экономических объектов, на основе анализа слабоструктурированной информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 14-01-00690 А.

Литература

1. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. №7. С. 21-28.
2. Багузова (Булыгина) О. В., Головинская М. В., Чичерова Е. Ю. Анализ особенностей и выбор инструментов диагностики состояния сложных социально-экономических объектов промышленности // Научное обозрение. 2014. №3. С. 165-168.

***Г.Б. Бурдо, д.т.н., проф.; Н.А. Семенов, д.т.н., проф.
(ТвГТУ, г. Тверь)***

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ СОЗДАНИИ САПР ТП

ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее большинство научно-производственных фирм наукоемкого машиностроения, исходя из номенклатуры и объемов выпуска изделий, можно с уверенностью отнести к предприятиям единичного и мелкосерийного типов производств. Известно, что особенности единичного и мелкосерийного производства, обусловленные сжатыми сроками на выполнение одновременно большого числа контрактов, предопределяют упрощенное проведение технологической подготовки производства (в том числе и наиболее важной и

трудоемкой её задачи - проектирование технологических процессов механической обработки) и, по существу, выполнение её рабочими и мастерами.

Поэтому качество спроектированных технологий, наряду с конструкцией изделий определяющих конкурентоспособность продукции, оставляют желать лучшего. Принципиальные затруднения возникают и при внедрении оборудования с числовым программным управлением (чисто инженерная область деятельности), систем управления технологическими процессами (отсутствие точных данных по временам выполнения операций).

Следовательно, разрешение противоречия между качеством технологической подготовки производства и весьма ограниченными временными периодами её выполнения, важно для динамичных производственных систем наукоемкого машиностроения и приборостроения.

ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДИНАМИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Одним из наиболее эффективных методов разрешения указанного противоречия является разработка и внедрение автоматизированных систем проектирования технологических процессов (САПР ТП), построенных на определенных принципах [1].

Исходными данными для проектирования технологий в САПР ТП являются:

1) функция технологического процесса (ТПр) φ ($\varphi: C_O \rightarrow C_K$), где C_O , C_K - информационные описания заготовки и готовой детали); 2) программа выпуска N ; 3) календарные сроки выпуска детали; фактическое состояние ТП. В функции φ известной является информационная модель готового изделия (детали) C_K [2, 3]. Известны и технические ограничения, накладываемые производственными системами (ПС) [2,3,4]: методы получения заготовок, методы обработки поверхностей деталей, оборудование в ПС, средства технологического оснащения и т.д.

В тоже время вниманием обходится тот факт, что фактическое состояние и изменения в ПС должны находить отражение в видоизменении алгоритмов проектирования. К сожалению, большинством авторов учет фактического состояния в ПС сводится к корректировке баз данных (мало динамичный параметр), и не учитывает организационные аспекты (высоко динамичный атрибут).

Это связано с тем, что задача проектирования технологий не трактовалась как *организационно-технологическая*, не рассматривалась возможность создания предпосылок эффективного управления ПС на этапе технологической подготовки производства.

Различие конструкторско-технологических характеристик деталей, изготавливаемых на предприятиях многономенклатурного машиностроения

(ММ), разнообразный состав оборудования средств технологического оснащения, непредсказуемые состояния ТП (по загрузке, фактической численности рабочих, появлению новых заказов и т.п.) приводит нас к пониманию того факта, что проектирование ТПр является малоформализованной, многовариантной *организационно-технологической* задачей, решаемой в условиях информационной неопределенности.

В настоящей работе показан на основе сформулированных ниже принципов подход к созданию САПР ТП, способных к перестройке алгоритмов на основе обобщения опыта проектирования и оценки текущей ситуации в ПС. Для оценки текущей ситуации необходимо в качестве параметров фактического состояния ПС ($ПС^{\phi}$) использовать загрузку оборудования по типам и группам.

Для реализации возможности обобщения опыта проектирования необходимо сравнение фактического состояния изделия $C_{k\phi}$ после реализации технологии с информационной моделью этого состояния изделия C_k ; это при неоднократном их совпадении позволит применять в САПР ТП накопленные и обобщенные решения.

Важным является и учет в САПР ТП целевой функции (ЦФ) конкретного изготавливаемого заказа. Авторы [2-6 и др.] считают, что ЦФ должна являться минимальная технологическая себестоимость, $C_{\min}$. Точка зрения справедлива при устоявшейся номенклатуре выпуска, что нехарактерно для ММ. Рассмотрим еще две ЦФ - максимальный выпуск изделий за единицу времени ($Q_{\max}$) и минимум времени цикла выпуска партии деталей ($T_{\min}$). Выбор $Q_{\max}$ целесообразен в случае срочного выпуска изделий при ТПр в 1-3 операции. Выбор целевой функции $T_{\min}$ следует осуществлять в случае срочного выпуска изделий, и ТПр более 3 операций. Различие между $Q_{\max}$ и $T_{\min}$ - второй критерий учитывает временные потери всех видов, а не только подготовительно-заключительное время. При выборе одного из них $C_{\min}$ целесообразно в моделях перевести в технико-экономическое ограничение $C \leq C_3$.

При выборе в качестве целевой функции $C_{\min}$ следует модели дополнить технико-экономическими ограничениями $Q \geq Q_3$ или $T \leq T_3$, Q_3 и T_3 - заданные величины штучной производительности и времени цикла выпуска изделий.

Таким образом, технические ограничения (ТО), параметры фактического информационного состояния ПС ($ПС^{\phi}$) и изделия $C_{k\phi}$, технико-экономические ограничения (ТЭО) представляют собой предлагаемую модель технологических подразделений ($M_{ТП}$), в рамках которой реализуется ТПр и обеспечивается организационно-технологическое проектирование:

$$M_{ТП} = \{ТО, ПС^{\Phi}, C_{кф}, ТЭО\}. \quad (1)$$

Параметры $ПС^{\Phi}$ - загрузка оборудования по типам (группам), определяемая как отношение суммы станкоемкостей работ, запроектированных на данную группу (тип) оборудования в соответствии с календарным планом, отнесенной к соответствующему месячному фонду времени работы оборудования (по данным от системы управления ТПр). В свою очередь $ТЭО$:

$$ТЭО = \{(C \leq C_3) \vee (T \leq T_3) \vee (Q \geq Q_3)\}, \quad (2)$$

где " $\vee$ " - знак строгой дизъюнкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базовом предприятии при разработке программных средств САПР ТП используется показанный в настоящей работе методологический подход, основанный на следующих *принципах*, обеспечивающих реализацию организационно-технологического проектирования.

1. Учет изменения параметров, описывающих фактическое состояние в ПС.
2. Накопление опыта проектирования (обучение).
3. Реализация системного подхода, рассматривающего САПР ТП как многоагентную иерархическую систему, а САПР ТП как агент ПС.
4. Интеграция в единое информационное пространство, т.е. интеграция с системами управления ТПр.

Принципы 1 и 2 обеспечивают реализацию элементов искусственного интеллекта при создании САПР ТП.

Опыт эксплуатации программных средств [7,8] показал возможность их быстрого реагирования на изменение производственной ситуации в обрабатывающих подразделениях, обеспечил на 60-80% сокращение времени разработки технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ, и равномерную загрузку оборудования по времени.

Литература

- 1.Бурдо Г.Б. Теоретические основы комплексной автоматизированной системы проектирования и управления технологическими процессами в многоноенклатурном производстве/Г.Б. Бурдо, Б.В. Палюх// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки.- 2010.- №4(127).-С.44-54.
- 2.Горанский Г.К. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ / Г.К. Горанский, Е.В. Владимиров, Л.Н. Ламбин. -М.: Машиностроение, 1970. -224с.
- 3.Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск, наука и техника.- 1979.-264с.
4. Кондаков А.И. САПР технологических процессов/ А.И.Кондаков // - М.: Издательский центр "Академия", 2007.-272с.
5. Горанский Г.К. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения /А.Г. Ракович, Г.К. Горанский, Л.В. Губич, В.И. Махнач и др. Минск, ИТК АН Беларусь.- 1997. 276с.
6. Евгеньев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования / Г.Б. Евгеньев//. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.- 2009. – 334 с.
- 7.Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Баженов А.Н. Управление технологическими процессами: программа для ЭВМ. Роспатент РФ, гос. рег. №2011612834.- Зар. в реестре программ для ЭВМ 08.04.11.
- 8.Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Баженов А.Н. Моделирование размерной структуры технологического процесса: программа для ЭВМ. Роспатент РФ, гос. рег. №2010614613.- Зар. в реестре программ для ЭВМ 13.06.10.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ MAXIMA

В настоящее время большую популярность среди широкого круга пользователей приобрели системы компьютерной математики. Математическое программное обеспечение для аналитических (символьных) вычислений является мощным инструментом для ученого или преподавателя, аспиранта или студента, позволяющее автоматизировать наиболее рутинную и требующую повышенного внимания часть работ. Maxima — это система компьютерной алгебры, аналогичная Mathematica, Matlab и другим подобным системам. Несмотря на сложность программных продуктов, предназначенных для символьных вычислений, Maxima выгодно отличается от аналогичных программ тем, что является бесплатной.

Для изучения программы Maxima можно использовать различные интернет-ресурсы: Решение прикладных задач с помощью Maxima (lug.mephist.ru/wiki), Математика за компьютером «Maxima. Матрицы» (matandlife.blogspot.ru), «Maxima. Функции и операторы» (maxima.sourceforge.net/ru). Применение данной программы рассматривали во многих статьях, например, С.В.Кондратенко и др. [1] в своей работе описывали создание пользовательского интерфейса для системы компьютерной алгебры Maxima, который бы обеспечивал естественное представление математических выражений с использованием средств языка MathML. Ф.С.Сиразов [4] описал применение в обучении таких средств новых информационных технологий, как системы компьютерной алгебры, а именно программа Maxima. На наглядных примерах показывает эффективность использования возможностей системы компьютерной алгебры. Н.А.Леонова [2] пишет о том, как собрать в одном дидактическом блоке набор сведений об основных функциях и приемах работы в программе Maxima.

Целью исследования является решение системы линейных уравнений матричными методами с помощью программы Maxima.

Пусть, дана следующая система линейных уравнений.

$$\begin{cases} 7x + 2y + 3z = 15 \\ 5x - 3y + 2z = 15 \\ 10x - 11y + 5z = 36 \end{cases}$$

Решаем ее первым способом (Метод Крамера).

Записываем данную систему уравнений в матричном виде, где матрица А – коэффициенты перед переменными, матрица В – свободные члены.

$$A = \begin{pmatrix} 7 & 2 & 3 \\ 5 & -3 & 2 \\ 10 & -11 & 5 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 15 \\ 15 \\ 36 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Задать матрицу в программе не сложно, после каждого действия ставит «;» и нажимает shift+enter (рис.1).

```
(%i1) A:matrix([7,2,3],[5,-3,2],[10,-11,5]);
(A) [ 7  2  3
      5 -3  2
      10 -11 5]
```

Рисунок 1 – Определение матрицы с системе

В квадратных скобках по очереди записываются через запятую элементы первой строки, затем второй и т.д.

Далее требуется найти определитель: функция determinant(matrix) (рис.2).

```
(%i2) determinant(A);
(%o2) -36
```

Рисунок 2 – Определитель матрицы

Теперь находим ΔX , ΔY , ΔZ , т.е. определители переменных. Для этого в матрице A заменяем для X первый столбец на столбец свободных членов, для Y второй столбец на столбец свободных членов, и соответственно для Z заменяем третий столбец на столбец свободных членов. Чтобы посчитать определитель от X, Y, Z задаем в программе новые матрицы и считаем их определители (рис.3).

```
Файл  Правка  View  Ячейка  Maxima  Уравнения  Алгебра  Анализ  Упростить  Граф
(%i6) X:matrix([15,15,36],[2,-3,-11],[3,2,5]);
      Y:matrix([7,5,10],[15,15,36],[3,2,5]);
      Z:matrix([7,5,10],[2,-3,-11],[15,15,36]);
      determinant(X);
      determinant(Y);
      determinant(Z);
(X) [ 15 15 36
      2 -3 -11
      3  2  5]
(Y) [ 7  5 10
      15 15 36
      3  2  5]
(Z) [ 7  5 10
      2 -3 -11
      15 15 36]
(%o4) -72
(%o5) 36
(%o6) -36
```

Рисунок 3 – Нахождение определителей

Для нахождения X, Y, Z воспользуемся формулами (рис.4):

$$X = \frac{\Delta X}{\Delta}; \quad Y = \frac{\Delta y}{\Delta}; \quad Z = \frac{\Delta z}{\Delta}.$$

```

Файл  Правка  View  Ячейка  Maxima  У
(%i3)  x:=-72/-36;
        y:=36/-36;
        z:=-36/-36;
(%o1)  x=2
(%o2)  y=-1
(%o3)  z=1

```

Рисунок 5 – Нахождение корней линейных уравнений

Покажем решение задачи вторым способом, с помощью обратной матрицы. Для нахождения корней воспользуемся следующей формулой

$$X = A^{-1} * B.$$

В программе умножение матриц почленно обозначается знаком «*», но нам понадобится обычное умножение, которое обозначается знаком «.».

Вычисление обратной матрицы производится с помощью функции `invert(matrix)`.

```

Файл  Правка  View  Ячейка  Maxima  Уравнения  Алгебра  Анализ  Упростить
(%i21)  A:matrix([7,2,3],[5,-3,2],[10,-11,5]);
        B:matrix([15],[15],[36]);
        X:invert(A).B;
(A)      [ 7   2   3 ]
          [ 5  -3   2 ]
          [10 -11   5 ]
(B)      [ 15 ]
          [ 15 ]
          [ 36 ]
(%o21)   X = [ 2 ]
              [-1]
              [ 1 ]

```

Рисунок 6 – Вычисление корней уравнения с помощью обратной матрицы

Решение предлагаемой системы линейных уравнений можно найти в интернет-источнике [3], ответ получается тот же, что и у нас.

Таким образом, проведенное исследование показало, что программа Maxima позволяет быстро выполнить сложные действия над матрицами, преимущество в том, что программа доступна любому пользователю, так как она является бесплатной.

Литература

1. Кондратенко С.В., Моисеенко Н.В., Семериков С.А., Теплицкий И.А. MAXIMA/MATHML – новый интерфейс к системе компьютерной алгебры maxima // Новые компьютерные технологии. 2006. Т. 4. № 1 (4). С. 33-34.
2. Леонова Н.А. Использование пакета символьной математики maxima в курсе «Компьютерные технологии в научных исследованиях»// Теория и методика обучения математике, физике, информатике. 2003. Т. 3. № 3 (9). С. 183-187.
3. Решение систем линейных уравнений матричным методом. URL: <http://mathportal.net>
4. Сиразов Ф.С. Применение системы компьютерной алгебры maxima в обучении элементам абстрактной и компьютерной алгебры // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2009. № 116. С. 223-227.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ

Система информационно-имитационного моделирования является инструментом управления пожарной безопасностью природно - промышленных объектов, к которым относятся лесоторфяные ландшафты. Ее основными компонентами являются подсистема мониторинга состояния природного объекта и подсистема имитационного моделирования. Подсистема мониторинга является источником информации для подсистемы имитационного моделирования, на основании которой производятся расчеты параметров, определяющих возможное состояние объекта в будущем периоде и являющихся информационной основой для принятия управляющих решений. Подсистема имитационного моделирования содержит набор моделей, которые используются в зависимости от текущей ситуации. В частности в нее входят модели расчета вероятности возникновения пожара, модели распространения пожара, модели оценки последствий лесоторфяного пожара. Результаты расчетов служат для принятия решений для управления пожарной безопасностью природно – промышленного объекта. В блок принятия решений входят модели оптимального распределения сил и средств для ликвидации пожара, проведения профилактических работ по его предупреждению.

Ключевыми для прогнозирования возможности возникновения лесоторфяных пожаров и выработки тактики их ликвидации являются процессы изменения уровня грунтовых вод, и влажности торфа под влиянием климатических условий. В настоящее время в области математического моделирования процессов влагопереноса, фильтрации и тепло- массопереноса существует несколько различных направлений, каждое из которых в той или иной степени связан с решением проблемы исследования водообмена в болотных ландшафтах. Для описания процессов тепло- и влагопереноса в почве при взаимодействии атмосферы с поверхностью почвы была разработана математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных описывающих процессы парообразования, скорость изменения теплосодержания грунта, вследствие фазовых переходов воды, скорость изменения влагосодержания за счет фазовых переходов воды, инфильтрации воды под действием силы тяжести. В качестве нижних краевых условий для уравнений тепло- и влагопроводности принимается отсутствие потоков тепла и влаги через нижнюю границу. Верхнее краевое условие задается на поверхности почвы. Разработаны вычислительные схемы решения систем уравнений диффузии с ненулевыми источниками в правых частях для численного моделирования процессов тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых пористых средах (грунтах). Модель предназначена для выявления закономерностей водообмена в болотных ландшафтах и определения пожароопасных участков в системе мониторинга торфяных пожаров.

Другими факторами влияющим на возможность возгорания торфа и скорость распространения лесоторфяного пожара являются его структурно - генетические особенности, определяемые особенностями формирования лесоторфяного ландшафта. Свойства торфа, как и водный режим лесоторфяного ландшафта, не равномерно распределены по территории. Система информационно-имитационного моделирования содержит пространственную компоненту, позволяющую учитывать неравномерность распределения свойств торфа на территории природно - промышленных объектов. Подсистема мониторинга содержит сведения о территориальном распределении свойств торфа, которые учитываются в подсистеме имитационного моделирования.

На результаты моделирования процессов влагообмена и определения характеристик, влияющих на способность горения торфа влияют особенности топографического рельефа лесоторфяного ландшафта. Пространственная распределенность исходных данные и результатов расчёта являются существенной особенностью системы информационно-имитационного моделирования

Предложенный в [1] подход к проектированию информационно - вычислительной системы для предупреждения, прогнозирования и ликвидации торфяных пожаров позволяет объединить пространственно - временные данные и имитационные модели на основе ГИС - технологий.

Предлагаемая архитектура интеллектуальной информационно – вычислительной системы, реализующей этот подход, приведена на рис. 1.

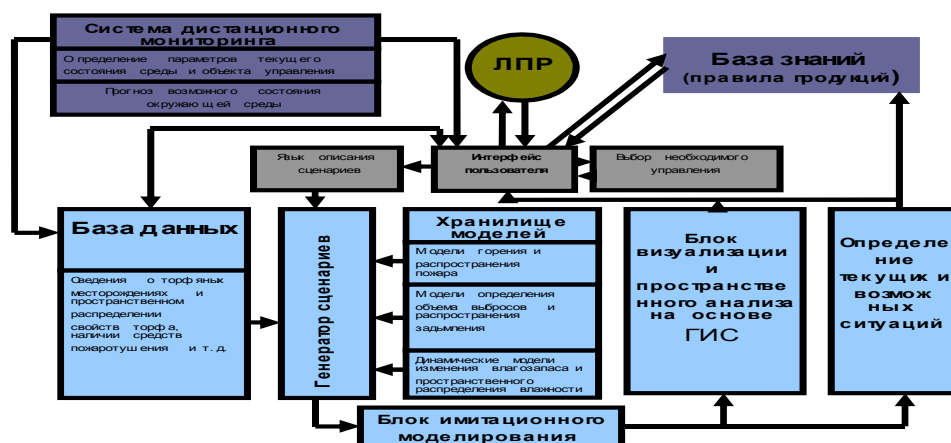


Рис.1. Архитектура информационно – вычислительной системы пожарной безопасности

На рисунке представлены основные компоненты такой системы и их связи. Блок визуализации и пространственного анализа данных на основе ГИС отражает необходимость учета пространственной распределенности исходных данные и отображения результатов расчёта на географических картах. ГИС является центральным звеном информационно – аналитической системы. Она используется на стадии подготовки исходных данных для моделирования, а также для отображения результатов моделирования на карте местности. Использование геоинформационной системы позволяет создавать цифровую

карту местности с возможностью динамического отображения степени пожарной опасности, а также для планирования операций по ликвидации пожаров (рис. 2).

Рис. 2. Пример использования информационной системы для планирования операций по ликвидации торфяного пожара

Литература

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ TAKE-GRANT

Основными требованиями к безопасности компьютерных систем является разграничение возможности доступа к данным. Это означает, что пользователю достается лишь та информация, которая необходима ему для выполнения той или иной операции. Для проверки выполнения данного требования существует ряд математических моделей.

В данной статье рассматривается модель TAKE-GRANT. В рамках модели выделены критерии безопасности состояния компьютерной системы. Также будут рассмотрены алгоритмы, которые позволят определить, безопасно ли текущее состояние системы.

Компьютерная система в модели TAKE-GRANT имеет вид ориентированного графа, в вершинах которого содержатся субъекты и объекты, при этом дуги показывают права субъектов на их объекты. В описании данной модели есть стандартные права записи и чтения, но также есть два дополнительных права:

- $take(t)$ – право брать у некоторого субъекта,
- $grant(g)$ – право передавать свои права некоторому субъекту.

В результате, при рассмотрении полученного графа доступа требуется определить, возможно ли получение доступа у какого-либо субъекта на какой-либо объект за некоторое число шагов, возможно ли изменить исходный граф таким образом, чтобы между двумя вершинами образовалась дуга с правом, которое отсутствует в исходном графе.

В модели TAKE-GRANT для проверки возникновения прав доступа определены две теоремы.

Первая теорема сформирована для графа, в котором содержатся только вершины-субъекты. Суть этой теоремы в том, что доступ между двумя субъектами будет в том случае, если в начальном графе эти вершины будут tg -связны, это значит, что существует путь, проходящий через другие вершины, содержащий права t или g [1, 2].

Вторая теорема основывается на произвольном графе [1, 2], чтобы ее рассмотреть нужно, разобрать ряд определений.

Рассмотрим понятия острова и моста.

Островом называется tg -связные граф, в котором содержатся только вершины субъектов.

Мост – это tg -путь, проходящий по вершинам - объектам имеющий определенный вид: $\overrightarrow{t^*}$, либо $\overleftarrow{t^*}$, либо $\overrightarrow{t^*} \overrightarrow{g} \overleftarrow{t^*}$, либо $\overleftarrow{t^*} \overleftarrow{g} \overrightarrow{t^*}$, где $*$ означает многократное повторение.

Начальным и конечным пролетами моста называются tg -пути, проходящие по вершинам-объектам, словарная запись которых имеет вид $\overrightarrow{t^*g}$ и $\overleftarrow{t^*g}$ соответственно.

Вторая теорема основывается на том, что доступ между вершинами графа возможен только тогда, когда эти вершины соединены в начальном графе с островами начальным и конечным пролетом моста, и эти острова соединяются мостами соответственно.

Из рассмотренного описания модели ясно, при каких условиях появляется возможность несанкционированного доступа, но при этом способы проверки наличия этих условий не рассматриваются.

В данной работе для определения возможности несанкционированного доступа предлагается выполнить следующее.

Для графа из вершин-субъектов необходимо проверить наличие tg -пути между двумя вершинами, воспользуемся для этих целей алгоритмом Дейкстры [3].

Построить по исходному графу доступов G_0 граф G_0^* :

- 1) Множество вершин графа G_0^* совпадает с множеством графа G_0
- 2) Ребра в графе G_0^* не ориентированы, граф G_0^* содержит только те ребра, которые содержат права take и grant
- 3) При этом все ребра G_0^* имеют одинаковый вес

Для графа G_0^* используем алгоритм Дейкстры, для поиска минимального пути в графе. При этом найденный путь, с помощью алгоритма Дейкстры в графе G_0^* , будет tg -путем между двумя вершинами в графе G_0

Оценка времени работы алгоритма Дейкстры будет $O(N^2)$ операций, где N – число вершин. Для построения графа G_0^* потребуется столько же операций.

Для произвольного графа доступов необходимо найти пролеты начальный и конечный, острова и мосты.

Для выполнения нахождения островов воспользуемся алгоритмом Флойда[3].

Построить по исходному графу доступов G_0 граф $G_0^{\cdot}$:

- 1) Множество вершин графа $G_0^{\cdot}$ совпадает с множеством графа G_0
- 2) Ребра в графе $G_0^{\cdot}$ не ориентированы, множество ребер графа $G_0^{\cdot}$ содержит лишь те ребра из G_0 для которых началом и концом является вершина субъект и которые содержат права take-grant.
- 3) При этом все ребра $G_0^{\cdot}$ имеют одинаковый вес

Для графа $G_0^{\cdot}$ применяется алгоритм Флойда. Алгоритм обнаружит наименьший путь между парой вершин в графе $G_0^{\cdot}$. Эти пути в графе $G_0^{\cdot}$ будут tg -путями, проходящими через вершины-субъекты в графе G_0 .

Оценка времени работы алгоритма Флойда будет $O(N^3)$ операций, где N – число вершин. Для построения графа G_0^* потребуется $O(N^2)$ операций.

Из рассмотренного выше, следует отметить, что зная критерий безопасности состояния ИС, и зная как эти критерии проверить, не составит труда исследовать начальное состояние системы на несанкционированный доступ. Такой анализ будет проведен за время, не превышающее $O(N^2)$ операций.

На практике данные математические выкладки могут быть использованы для вычислительных систем для перехвата событий и анализа прав доступа.

Литература

1. Девянин, П.Н. Модели безопасности компьютерных систем: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / П.Н. Девянин – М.: Издательский центр «Академия», 2005.
2. Гайдамакин, Н.А. Разграничение доступа к информации в компьютерных системах / Н.А. Гайдамакин – Е.: Издательство Уральского Университета, 2003.
3. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника – М.: Издательство «Мир», 1981.

*В.Н. Денисов, д.т.н, доц., С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ К ИССЛЕДОВАНИЮ ТОКОВ КРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА С ПОВРЕЖДЕНИЕМ В ОДНОМ СТЕРЖНЕ

В статье обсуждается один из вариантов применения разностных уравнений к несимметричным электрическим машинам (ЭМ, касающийся получения решений для контурных токов короткозамкнутого ротора.

Математическая модель (ММ) короткозамкнутой клетки ротора в установившемся режиме представляется в виде

$$\vec{Z} \cdot \vec{I} = \vec{E}, \quad (1)$$

где $\vec{E}$ – вектор возбуждения ЭДС, $\vec{Z}$ – матрица ЭМ, заданные величины, $\vec{I}$ – неизвестный вектор контурных токов.

Для симметричной клетки ротора с планарной схемой, изображенной на рисунке 1, ММ ротора записывается в виде системы разностных уравнений:

$$\begin{cases} B \cdot y_1 - A \cdot y_2 - & - A \cdot y_n = E_0, \\ - A \cdot y_k + B \cdot y_{k+1} - A \cdot y_{k+2} & = E_k, k = 1 \dots (n-2), \\ - A \cdot y_1 + & - A \cdot y_{n-1} + B \cdot y_n = E_{n-1} \end{cases} \quad (2)$$

Выше принято, что A, B – параметры клетки ротора, y_k – координаты вектора $\vec{I}$ (контурные токи), $E_k = \exp(j \cdot k \cdot \gamma)$, $k = 0 \dots (n-1)$ – координаты вектора возбуждения ЭДС $\vec{E}$, а первое и последнее уравнения (2) играют роль «краевых» условий.

В [1] приведен вариант решения для контурных токов роторасимметричной ЭМ, полученный на основе теории разностных уравнений и сформулированный в виде теоремы.

Теорема. Решение в любом контуре планарной схемы ротора симметричной

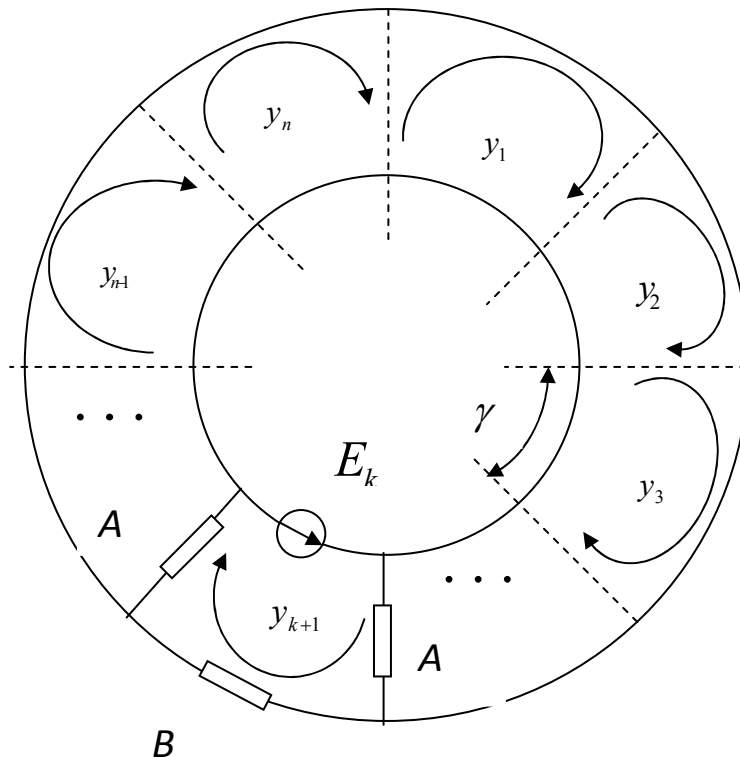


Рисунок 1—Планарная схема

ЭМ определяется только двумя собственными числами характеристического уравнения $A \cdot \lambda^2 - B \cdot \lambda + A = 0$ и имеет вид:

$$y_k = \frac{(u + v\lambda_2) \cdot \lambda_1^k}{A(\lambda_2 - \lambda_1)(1 - \lambda_1^k)} + \frac{(v + u\lambda_1) \cdot \lambda_2^k}{A(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_2^k - 1)} + \frac{1}{B - 2A \cos(\gamma)} \cdot \exp(j \cdot (k-1) \cdot \gamma), \quad (3)$$

$$u = f(A, B, a, \exp(j \cdot \gamma), \exp(j \cdot (n-1) \cdot \gamma)), \quad v = f(A, B, a, \exp(j \cdot (n-2) \cdot \gamma), \exp(j \cdot (n-1) \cdot \gamma)).$$

Полученные результаты позволяют:

1. Найти эллиптические составляющие системы контурных токов ротора симметричной ЭМ не прибегая к схеме замещения;
2. Подтверждают правило сведения многофазной ЭМ к двухфазной.

Рассмотренный в [1] подход дает возможность получить аналитические решения для контурных токов ротора с повреждением в одном стержне, чего невозможно получить путем применения схем замещения.

При наличии повреждения только в одном стержне, все характеристики планарной схемы, приведенной выше, остаются без изменений, кроме параметров двух соседних контуров, содержащих этот стержень. Поэтому математической моделью в этом случае будет система уравнений, приведенная ниже:

$$\begin{cases} B \cdot y_1 - A \cdot y_2 - & - A_p \cdot y_n = E_0, \\ - A \cdot y_k + B \cdot y_{k+1} - A \cdot y_{k+2} & = E_k, k=1 \dots (n-2), (4) \\ - A_p \cdot y_1 + & - A \cdot y_{n-1} + B \cdot y_n = E_{n-1} \end{cases}$$

Здесь, как и ранее, A, B – неизменные параметры клетки ротора, A_p – параметр стержня с повреждением, $E_k = \exp(j \cdot k \cdot \gamma)$, $k=0 \dots (n-1)$ – координаты вектора возбуждения ЭДС $\vec{E}$. Отыскивая решение разностного уравнения в системе (4) в виде $y_k = C_1 \lambda_1^k + C_2 \lambda_2^k + a \cdot \exp(j \cdot \gamma \cdot (k-1))$ и используя первое и последнее уравнения (4) в качестве краевых условий, получим координаты вектора токов ротора вида:

$$y_k = C_1 \lambda_1^k + C_2 \lambda_2^k + \frac{1}{B - 2A \cos(\gamma)} \cdot \exp(j \cdot \gamma \cdot (k-1)), \quad k=1, \dots, n,$$

λ_1, λ_2 – собственные числа характеристического уравнения $A \cdot \lambda^2 - B \cdot \lambda + A = 0$, константы C_1, C_2 находятся из решения системы уравнений

$$\begin{cases} C_1 \cdot (A - A_p \cdot \lambda_1^n) + C_2 \cdot (A - A_p \cdot \lambda_2^n) = u, \\ C_1 \cdot (-A_p \cdot \lambda_1 + A \cdot \lambda_1^{n+1}) + C_2 \cdot (-A_p \cdot \lambda_2^{n+1}) = v, \end{cases}$$

правые части которой имеют вид:

$$u = 1 - \frac{B + A \exp(j \cdot \gamma) + A \exp(j \cdot (n-1) \gamma)}{B - 2A \cos(\gamma)},$$

$$v = \exp(j \cdot (n-1) \cdot \gamma) + \frac{A + A \exp(j \cdot (n-2) \cdot \gamma) + B \exp(j \cdot (n-1) \gamma)}{B - 2A \cos(\gamma)}.$$

На рисунках 2, 3 приведены варианты математического моделирования токов ротора для симметричной ЭМ и ЭМ с одним поврежденным стержнем.

векторы эдс - черные и токов - красные

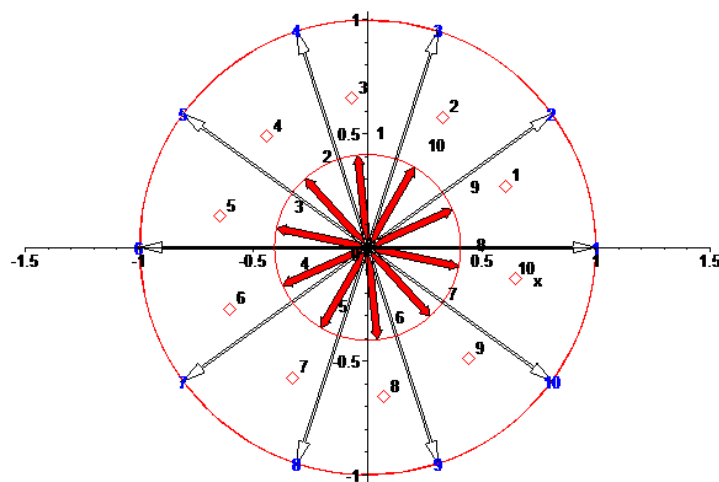


Рисунок 2 – Симметричная ЭМ

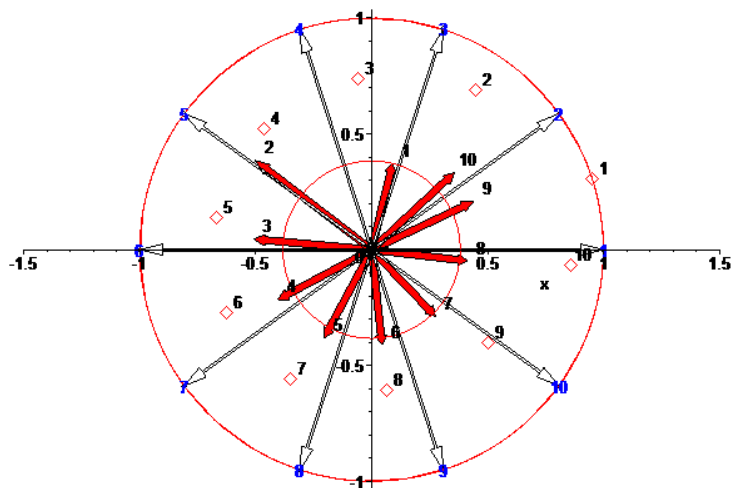


Рисунок 3 – Несимметричная ЭМ с повреждением в первом стержне

На единичном круге расположены занумерованные концы векторов ЭДС. Квадратиками обозначены координаты векторов контурных токов. Жирными стрелками обозначены векторы в стержнях клетки ротора ЭМ.

Сравнение результатов показывает возможность учета изменения токов ротора на основе предложенного подхода. Как и следовало ожидать, для ротора ЭМ без повреждений, система токов ротора обладает симметрией, величины всех контурных токов и токов в стержнях равны по модулю, тока в коротко замыкающих кольцах не наблюдается, так как сумма контурных токов равна нулю. В случае повреждения одного стержня клетки ротора происходит изменение токов ротора как показано на рисунке 3. В стержне с повреждением наблюдается наименьшее по модулю значение тока, а в других стержнях может происходить существенное увеличения значения тока (см. стержень 2). При этом система токов не обладает свойством симметрии и сумма контурных токов не равна нулю, то есть в коротко замыкающих кольцах возникают уравнивающие токи.

Полученные результаты позволяют исследовать систему токов в стержнях ротора при наличии повреждений одного стержня и могут быть использованы на практике.

Литература

1.Денисов В.Н., Курилин С.П. Разностные уравнения в теории симметричных электрических машин // Труды XVI международной конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» МКЭЭЭ-2016. / М: Институт электротехники НИУ "МЭИ", 2016 – С. 106 –107

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ СЛУЖБАМИ СППР АЭРОПОРТА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-02935)

Введение. В настоящее время в международных аэропортах (АП) России задача совершенствования оперативно принимаемых решений весьма актуальна. Современный АП использует функционально взаимосвязанные службы, в том числе: а) диспетчерскую службу воздушного движения; б) службы обеспечения воздушных судов на аэродроме (заправка топливом, предполетная подготовка); в) метеослужбу аэродрома; г) службы обеспечения регистрации, посадки и высадки пассажиров; д) службы погрузки и разгрузки воздушных судов, и др.

Наиболее ответственной в аспекте безопасности полетов является служба управления воздушным движением, которая должна обладать способностью выбирать необходимую информацию из большого объема сообщений, а также иметь возможность дополнительной пространственной имитации, позволяющей правильно представлять положение бортов в воздушном пространстве и прогнозировать их положение через определенное время в течение полета. Однако эта служба не может в полной мере выполнять свои функции без координации взаимодействия с другими функциональными службами. Поэтому персонал обеспечивается СППР, в том числе работающими в online-режиме, а также компьютерными online-тренажерами.

Нечеткая логика в формировании выводов на основе данных имитационных экспериментов. Имитационное моделирование применяется, когда:

- а) либо статистических данных для принятия решений недостаточно;
- б) либо их невозможно получить, а «натурный» эксперимент невозможен.

В таких случаях имитационное моделирование применяется либо как дополнение к статистическим методам, либо как самостоятельный инструмент.

Для принятия решений с применением данных имитационных моделей можно использовать такие методы (ниже – по возрастанию их сложности).

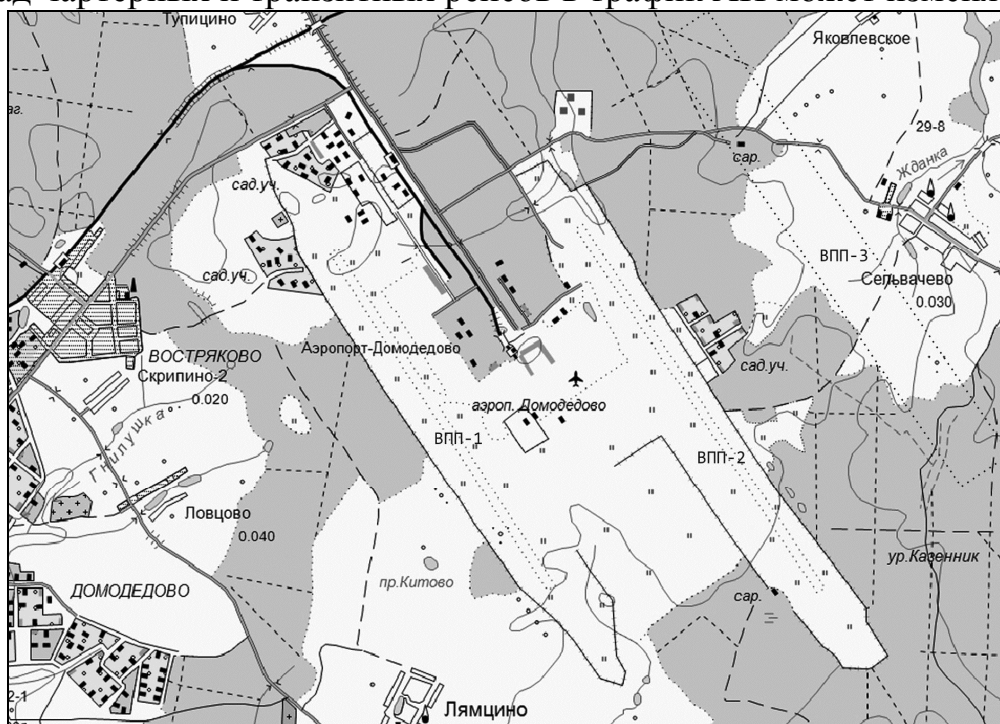
1. Линейное программирование – если регрессионный анализ позволяет получить линейную поверхность отклика с линейными ограничениями, обладающую приемлемым уровнем значимости, что далеко не всегда получается на практике.

2. Нелинейное программирование – метод Франка-Вульфа, когда можно получить нелинейную поверхность с аппроксимацией вблизи экстремальных [3] значений поверхностями четного (обычно 2-го порядка), что не всегда возможно.

3. Градиентный методы – метод Гаусса-Зейделя, когда нет возможности получить поверхность отклика, но возможно получение частных производных в точках. Однако при этом случайно возникают точки бифуркации [2] на траектории поиска экстремальных значений: «дефектной» смены направлений поиска.

4. «Совсем плохой случай», когда можно получить только набор приемлемых решений, что может сказываться на динамике оптимизируемой системы. При этом, если данные довольно точные, применяют динамическое программирование [4].

СППР и имитационная модель служб аэропорта. Рассмотрим реальные исходные данные на примере авиапредприятия АП «Домодедово», где есть две взлетно-посадочные полосы (ВПП-1 и ВПП-2), причем у этих полос неодинаковые пропускные характеристики, что следует учесть в модели (рис. 1): время занятия ВПП-1 от (0,5; 1,0) мин., зависит от воздушного судна (ВС);



Рассмотрим имитационную модель (в терминах «Actor Pilgrim») с применением элементов нечеткого вывода, которая учитывает неодинаковость взлетно-посадочных полос (рис. 2). В ней выделены три процесса-узла ППР (05, 06 и 14):

05) «ППР взлета» – диспетчеризация взлета бортов, занятие полос, рулежка;

06) «ППР посадки» – для диспетчеризации бортов в зоне АП (вход, очередь на круг, занятие полос, посадка и рулежка, либо уход на запасной аэродром);

14) «ППР аэродрома» – диспетчеризация аэродромных служб заправки судов топливом, подготовка ВС на стоянке к полету, и др.

Модель предназначена для решения разных задач, в том числе двух:

Задача 1. Оптимизация функционирования аэродромных служб – тех, от которых зависят трафик, пропускная способность АП, как в смысле прилета-отлета ВС, так и грузов, и пассажиропотоки через терминалы А, В, С, D, F.

Ответ к задаче 1. При большом скоплении судов на летном поле, когда авиакомпании должны «летать», а не «стоять», методы работ и инжиниринга в авиационном транспорте необходимо совершенствовать.

Задача 2. Получение ответа на вопрос: «Нужна ли третья полоса ВПП-3 (показана разработчиками модели на рис. 1 – строительство в перспективе АП)?»⁵

Ответ к задаче 2. При самом тяжелом трафике (средний интервал приема и отправки судов – 2,5 мин.) имеем такой коэффициент использования полос:

а) загрузка ВПП-1 = 28,6 %;

б) загрузка ВПП-2 = 5,8 %.

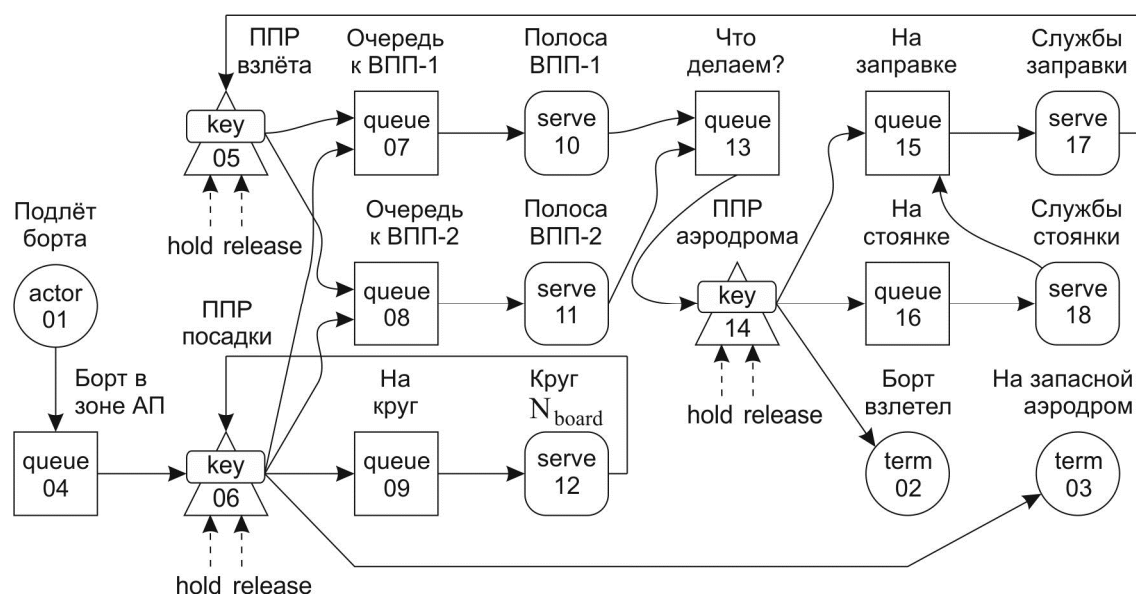


Рис. 2. Функционально-структурная схема имитационной модели принятия решений в АП "Домодедово" с элементами нечеткой-логики

⁵ Официальное разъяснение о строительстве третьей взлетно-посадочной полосы в АП «Домодедово» см. на сайте аэропорта (http://www.domodedovo.ru/ru/main/news/press_rel/?ID=3022)

Все попытки уменьшить средний интервал взлетов-посадок – сделать менее 2,5 мин. были неудачными. Такой трафик приводил аэродромные службы «в ступор», поскольку организация их работ осталась на уровне с 60-х годов.

Модельные данные (рис. 3) показывают, что основной причиной недогрузки является известное правило: сколько ВС приземлилось на аэродром, столько должно и отправиться в полет, например, в течение года. Однако бизнес-проект по увеличению трафика может привести к парадоксу: летное поле АП «Домодедово» будет переполнено судами всего мира, если не вводить ограничений, и только из-за применения устаревшей технологий работы авиапредприятия. И это в то же время, как стоимость строительства третьей полосы (модельная дислокация на рис. 1) со всеми дополнительными расходами по отселению и отторжению земель в настоящее время может составить более 100 млрд. руб.

Заключение. Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Созданы комплексная модель и операционная база данных (функционирование в режиме online). Модель снабжена наглядными графическими представлениями для пользователей этой информации. Даны ответы по задачам 1 и 2.

2. Модельные результаты решения задачи 2 полностью совпали с эвристическими выводами экспертов, для которых главным является довод типа «денег нет».

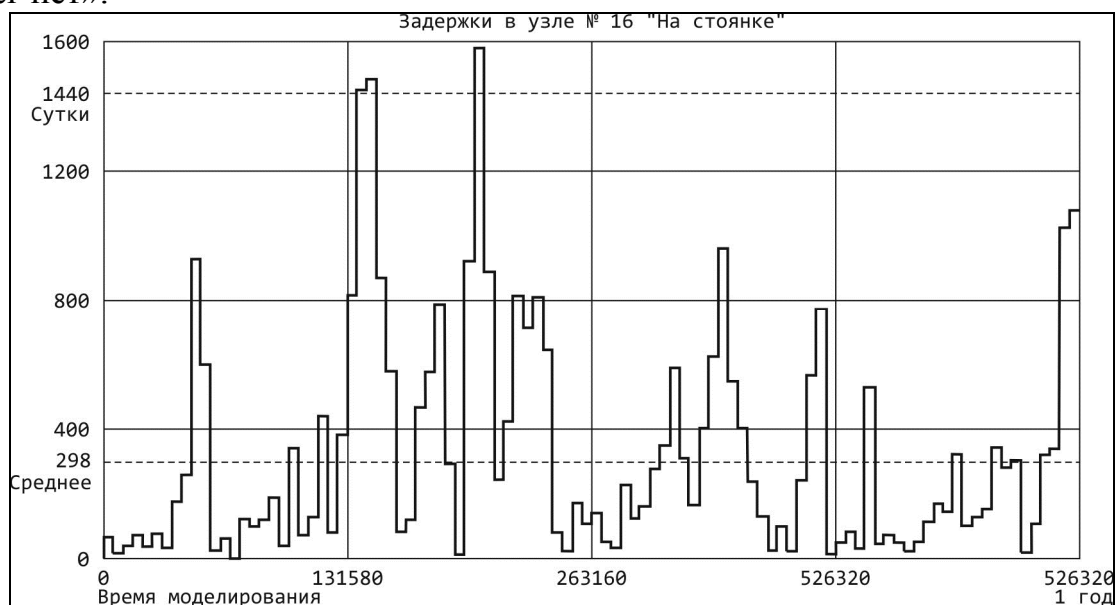


Рис. 3. Годовой график подготовки воздушных судов к вылету в АП "Домодедово" (вывод из имитационной Pilgrim-модели)

3. В настоящее время разработчиками системы имитационного моделирования Actor Pilgrim планируется создание программного интерфейса имитационного пакета Actor Pilgrim (имитационных исполняемых exe-моделей) с математическим пакетом Matlab (инструментами Fuzzy Logic Toolbox), что даст определенные возможности действиями исследователям, использующим как методы имитационного моделирования, так и искусственного интеллекта [1].

Литература

1. Булыгина О. В. Анализ реализуемости инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции: алгоритмы и инструменты // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 4 (64). С. 87–102.
2. Булыгина О. В., Емельянов А. А. Синергия и эволюция информационных систем в управлении холдингом // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 2 (62). С. 85–98.
3. Емельянов А. А. Планирование экстремальных экспериментов с имитационными моделями // Прикладная информатика. 2013. Т. 8. № 3 (45). С. 76–90.
4. Емельянов А. А., Шильникова О. В., Емельянова Н. З. Оптимизация производственных программ на основе результатов имитационного моделирования // Прикладная информатика. 2015. Т. 10. № 3 (57). С. 109–121.

*М.М. Зернов, к. т. н., доц.; А.Н. Покровский, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРЕДА РАЗРАБОТКИ PYTHON ДЛЯ УЧЕБНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Задача анализа текстов на естественном языке получает все большее распространение в связи с ее востребованностью в различных сферах информационных технологий, в частности для анализа поисковых интернет-запросов. Авторы данной работы ставят перед собой задачу создания учебной системы анализа текстов, в связи с чем возникает вопрос о выборе среды разработки.

Цель данной работы: исследовать возможности различных сред разработки для дальнейшего использования при построении системы автоматического анализа текстов на естественном языке на предмет выделения их основного смысла.

Несмотря на скорость исполнения приложений, разработанных на компилируемых языках, таких как Си или Си++, для них характерна низкая скорость разработки, связанная как с большей сложностью отладки, так и с отсутствием специализированных средств и библиотек для обработки больших данных, в связи с чем разработку пришлось бы вести практически с нуля.

Считается, что интерпретируемые языки значительно уступают в скорости компилируемым, но современные языки практически не уступают в производительности за счет реализации ресурсоемких функций на языке Си или Фортран. При этом скорость и простота разработки увеличиваются почти на порядок за счет удобного синтаксиса, более простой отладки программ и наличия как встроенных средств, так и подключаемых библиотек для работы с данными.

Языки Python и R спорят за звание «наилучшего» инструмента для работы с данными, и у обоих соперников есть свои достоинства и недостатки. Выбор того или иного языка зависит от конкретной ситуации, издержек на обучение, а также от того, какие еще распространенные инструменты требуются для решения задачи.

Росс Айхэка и Роберт Джентлмэн создали свободный язык R в 1995 году как свободную реализацию языка программирования S. Они стремились разработать язык, который обеспечивал бы более качественный и понятный подход к анализу данных, статистике и графическим моделям. На первых порах

R использовался преимущественно в академической и научно-исследовательской среде, но сравнительно недавно стал проникать и в мир больших корпораций. Поэтому R — один из наиболее бурно развивающихся статистических языков [1]. Одно из основных достоинств R — огромное сообщество разработчиков, занимающихся поддержкой языка. Существует обширный репозиторий пакетов R, в разработке которых могут участвовать все желающие. Эти пакеты представляют собой коллекцию функций и данных R, обеспечивающих мгновенный доступ к новейшим приемам и функционалу, избавляя программиста от необходимости разрабатывать все самостоятельно. R обычно применяется в тех случаях, когда для анализа данных требуются выделенные вычислительные мощности или отдельные сервера. R отлично подходит для исследовательской работы, удобен практически при любом варианте анализа данных, поскольку в языке R существует масса пакетов и готовые тесты, обеспечивающие нужный инструментарий для быстрого старта. R даже может быть элементом решения в области больших данных [2].

Язык Python был создан Гвидо ван Россумом в 1991 году. В этом языке делается акцент на производительности и удобочитаемости кода. Среди программистов, желающих погрузиться в анализ данных и пользоваться статистическими приемами, немало активных пользователей Python, применяющих этот язык именно в статистической сфере [1]. Как и R, Python обладает большим сообществом разработчиков, но оно несколько неоднородное, поскольку Python — универсальный язык. Тем не менее, именно наука о данных стремительно занимает все более внушительные позиции во вселенной Python. Python наиболее хорош в случаях, когда задачи, связанные с анализом данных, вплетаются в работу веб-приложений, или если статистический код требуется инкорпорировать в рабочую базу данных. Python, будучи полнофункциональным языком программирования, отлично подходит для реализации алгоритмов с их последующим практическим использованием [2]. Поэтому было принято решение использовать именно язык Python.

В качестве первой пробы языка было решено исследовать базовые методы линейной алгебры, реализованные для языка Python в пакете SciPy — в частности, методы подсчета косинусного расстояния и решения систем линейных уравнений. Обе вышеозначенные задачи важны для дальнейших изысканий в области анализа данных и машинного обучения. Так, на решении систем линейных уравнений основана настройка линейных моделей — очень большого и важного класса алгоритмов машинного обучения. Косинусное расстояние часто используется в анализе текстов для измерения сходства между ними [3].

Первая задача – аппроксимация функций полиномом степени N . В качестве примера рассмотрим сложную математическую функцию на отрезке:

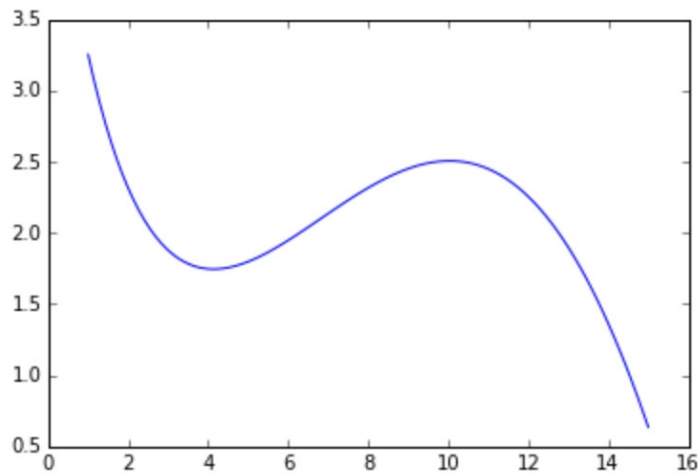


Рисунок 1 – График функции $f(x) = \sin(x/5) * \exp(x/10) + 5 * \exp(-x/2)$.

Она может описывать, например, зависимость оценок, которые выставляют определенному сорту вина эксперты, в зависимости от возраста этого вина. По сути, задача машинного обучения состоит в том, чтобы приблизить сложную зависимость с помощью функции из определенного семейства. Мы будем приближать указанную функцию с помощью многочленов.

Как известно, многочлен степени n однозначно определяется любыми $n + 1$ различными точками, через которые он проходит. Это значит, что его коэффициенты можно определить из следующей системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} w_0 + w_1x_1 + w_2x_1^2 + \dots + w_nx_1^n = f(x_1) \\ \dots \\ w_0 + w_1x_{n+1} + w_2x_{n+1}^2 + \dots + w_nx_{n+1}^n = f(x_{n+1}) \end{cases}$$

где через $x_1, \dots, x_n, x_{n+1}$ обозначены точки, через которые проходит многочлен, а через $f(x_1), \dots, f(x_n), f(x_{n+1})$ — значения, которые он должен принимать в этих точках.

Воспользуемся описанным свойством, и будем находить приближение функции многочленом, решая систему линейных уравнений.

1. Сформируем систему линейных уравнений (то есть зададим матрицу коэффициентов X и свободный вектор Y) для многочлена N степени, который должен совпадать с функцией f в $N+1$ точках.

$$X * A = Y$$

$$\begin{bmatrix} x_1^0 & x_1^1 & x_1^2 & x_1^3 \\ x_2^0 & x_2^1 & x_2^2 & x_2^3 \\ x_3^0 & x_3^1 & x_3^2 & x_3^3 \\ x_4^0 & x_4^1 & x_4^2 & x_4^3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}$$

```
def XNvector(N,x0): return np.array([x0**i for i in range(N)])
def f(x): return math.sin(x/5.)*math.exp(x/10.) + 5*math.exp(-x/2.)
x = [1,4,10,15]
```

```
X = np.array([XNvector(4,x0) for x0 in x]); Y = np.array([f(x0) for x0 in x]).reshape(4,1)
```

2. Решим данную систему с помощью функции `scipy.linalg.solve`.

Нарисуем функцию f и полученный многочлен 3 степени.

```
A = scipy.linalg.solve(X,Y); X0 = np.arange(1,16,1); Y0 = [f(x0) for x0 in X0]
Y1 = np.array( [XNvector(4,x0) for x0 in X0] ).dot(A)
plt.plot(X0,Y1); plt.plot(X0,Y0)
```

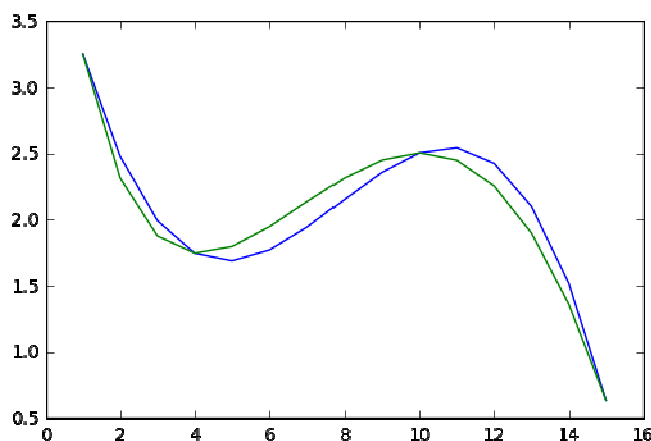


Рисунок 2 – Аппроксимация функции $f(x) = \sin(x/5) * \exp(x/10) + 5 * \exp(-x/2)$ кубическим сплайном.

Согласно проведенным тестам, аппроксимация в данном случае наиболее качественная при использовании многочлена 3 степени, т.к. она наиболее близко описывает функцию, и при этом обладает большей устойчивостью к различным помехам, чем полиномы более высоких степеней.

Второй задачей является поиск в наборе предложений тех, которые ближе всего по смыслу к расположенному в самой первой строке. В качестве меры близости по смыслу мы будем использовать косинусное расстояние.

Порядок выполнения следующий:

1. Загрузка файла с предложениями (sentences.txt).

```
fin = open('sentences.txt'); lines = fin.readlines(); fin.close()
```
2. Каждая строка в файле соответствует одному предложению. Считав их, приведем каждую к нижнему регистру с помощью строковой функции lower().

```
lines = map(lambda x : x.lower(), lines)
```
3. Произведем токенизацию, то есть разбиение текстов на слова. Для этого можно воспользоваться регулярным выражением, которое считает разделителем любой символ, не являющийся буквой: re.split('[^a-z]', t). Удаляем пустые слова после деления.

```
wordsInLines = map( lambda x: filter(None, re.split('[^a-z]', x)), lines )
```
4. Составляем список всех слов, встречающихся в предложениях. Сопоставим каждому слову индекс от нуля до (d - 1), где d — число различных слов в предложениях. Для этого удобно воспользоваться структурой «словарь» (dict).

```
wordsTotal = reduce ( lambda x,y : x.union(y), wordsInLines, set() )
dictionary = dict( zip(xrange(len(wordsTotal)), wordsTotal) )
```
5. Создаем матрицу размера $n * d$, где n — число предложений. Заполняем ее по следующему принципу: элемент с индексом (i, j) в этой матрице должен быть равен количеству вхождений j-го слова в i-е предложение.

```
dictTable = [ { word: wordsInLine.count(word) for word in wordsTotal } for wordsInLine in wordsInLines ]
```

```
Arr = np.array([D.values() for D in dictTable])
```

6. Находим косинусное расстояние от предложения в самой первой строке до всех остальных с помощью функции `scipy.spatial.distance.cosine`, определяющей косинусное расстояние, и выводим их отсортированными в порядке убывания.

```
sorted( [(i, distance.cosine(Arr[i], Arr[0])) for i in range(len(Arr))], key = lambda x: x[1])
```

Разумеется, использованный метод крайне простой. Например, он не учитывает формы слов (так, `cat` и `cats` он считает разными словами, хотя по сути они означают одно и то же), не удаляет из текстов артикли и прочие ненужные слова. Однако решение этих задач на языке Python позволило оценить его потенциал для дальнейшего использования в разработке системы. Так, язык предоставляет отличные возможности для быстрого прототипирования и удобной отладки, при этом в скорости он лишь незначительно уступает компилируемым языкам за счет реализации библиотек научных вычислений `scipy` и `numpy` на языке Фортран, что позволяет говорить о пригодности Python для разработки учебной системы анализа текстов на естественном языке.

Литература

1. R и Python — достойные соперники? - <https://habrahabr.ru/company/piter/blog/263457/>
2. Choosing R or Python for data analysis? - <https://www.datacamp.com/community/tutorials/r-or-python-for-data-analysis#gs.ujBZlZU>
3. Введение в информационный поиск / Кристофер Д. Маннинг, Прабхакар Рагхаван, Хайнрих Шютце. — М.: Вильямс, 2011. — 528 с.

И.И. Зыков, асп.

(ФГБОУ ВО «ТвГТУ» в г. Тверь)

ОБНАРУЖЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ, НАКРЫВАЮЩИХ ДЕФЕКТЫ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

За 2015 год производство листового стекла в Российской Федерации составило 246723 тыс. кв. м., а по состоянию на апрель 2016 года рост составил 5% [1]. Если эта тенденция сохранится, то для обнаружения дефектов потребуются более экономичные методы. На данный момент обнаружение дефектов листового стекла осуществляется, в основном, органолептически. Во многих случаях даже крупные дефекты листового стекла не могут быть обнаружены человеческим глазом из-за малого контраста на поверхности, не говоря уже о мелких дефектах. При этом максимально допустимый линейный размер дефекта составляет 0,5 мм, что вызывает сложность оценки геометрических параметров дефектов листового стекла. Либо используются механические, фотоэлектрические и электромеханические методы, но механические и электромеханические методы используются в большинстве случаев не на линии производства, а уже при проверке качества партии. А в фотоэлектрических методах используют либо эталонные модели [2], либо нелинейные фильтры, которые не всегда могут обнаружить дефект. При

использовании эталонных моделей возникает трудность в том, что каждый из дефектов не похож на другой, если даже они относятся к одной группе дефектов. Не все нелинейные фильтры обеспечивают обнаружение дефектов: одни из них добавляют дополнительные шумы на изображении, а другие малоэффективны из-за физических особенностей дефектов листового стекла. Поэтому требуется разработка новых методов обнаружения дефектов листового стекла.

Предлагаемый метод состоит из следующей последовательности операций. Поступающие кадры с оптико-электронного прибора преобразуются из полноцветного в полутоновое изображение. Дальнейшая операция связана с обнаружением структурных особенностей, преобразованного в предыдущей операции, изображения с использованием вычисления вейвлет - коэффициентов функций яркостей $f(x,y)$ пикселей строк, столбцов и одной из диагоналей (с координатами y в x -ой строке и с координатой x в y -ом столбце). На следующем этапе происходит идентификация структурных особенностей изображений по кластерам вейвлет - коэффициентов строк (массив $WT_g(x,y)$), столбцов (массив $WT_v(x,y)$) и одной диагонали (массив $WT_d(x,y)$) вычисленных вейвлет - коэффициентов функций яркостей. Вейвлет-коэффициенты определяются интегральным преобразованием сигнала. Полученные вейвлет-спектрограммы принципиально отличаются от обычных спектров Фурье тем, что дают чёткую привязку спектра различных особенностей сигналов ко времени. Таким образом, вейвлет-преобразования, в отличие от оконного преобразования Фурье, которое имеет постоянный масштаб в любой момент времени для всех частот, имеет лучшее представление времени и худшее представление частоты на низких частотах сигнала и лучшее представление частоты с худшим представлением времени на высоких частотах сигнала. Из этого следует, что вейвлет-преобразования дают возможность уменьшить влияние принципа неопределенности Гейзенберга на полученном частотно-временном представлении сигнала. С его помощью низкие частоты имеют более детальное представление относительно времени, а высокие — относительно частоты [3]. Далее вычисляется результирующий массив вейвлет - коэффициентов $WT(x,y)$ по формуле $WT(x,y) = WT_g(x,y) \vee WT_v(x,y) \vee WT_d(x,y)$, объединение осуществляется без потери структурных особенностей строк, столбцов и диагоналей. Итоговая операция - формирование минимальных прямоугольных окон, накрывающих дефекты листового стекла, по идентифицированным структурным особенностям изображения по правилу:

Если $((WT(x,y) = 1) \text{ И } (WT(x+1,y+1) = 1)) \text{ ИЛИ } ((WT(x+1,y) = 1) \text{ И } (WT(x,y+1) = 1))$ ТОГДА $(WT(x,y) = 1, WT(x+1,y+1) = 1, WT(x+1,y) = 1, WT(x,y+1) = 1)$.

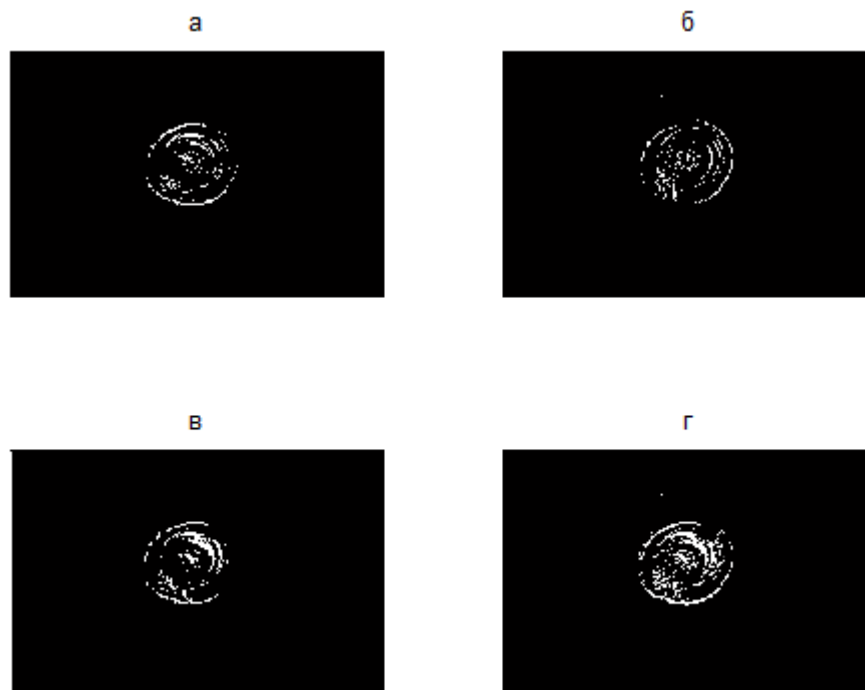


Рис. 1. – Идентифицированные структурные особенности изображения. а - массив по столбцам, б - массив по строкам, в - массив по диагоналям, г - результирующий массив.

Получившиеся окна (Рис. 2.) с минимальными площадями, они не перекрываются и полностью накрывают только свои локализованные изображения со структурными особенностями, но наряду с дефектами могут содержать до 50% аппликативного фона.

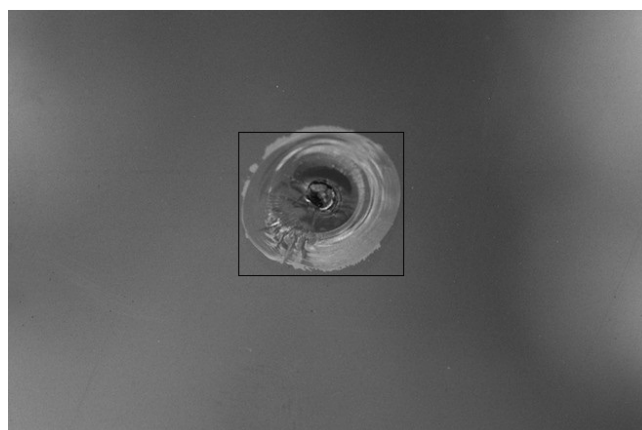
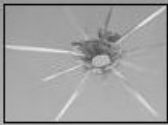
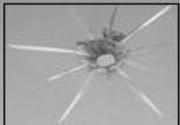
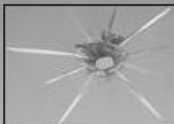
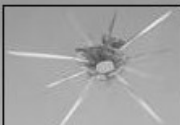
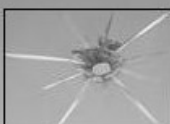


Рис. 2. – Окно с минимальной площадью, накрывающие дефект.

Все вейвлеты можно разделить на 5 групп: грубые, регулярные на бесконечности, ортогональные, биортогональные, комплексные. Но для решения задачи обнаружения дефектов листового стекла целесообразно использовать группу ортогональных вейвлетов, по причине того, что они имеют короткий фильтр, который не может привести к неверной локализации структурных особенностей [4]. Для сравнения были использованы вейвлеты Хаара, Добеши 2, Симлет 2 и Койфтел 1 .

Таблица 1 - Сравнение минимальных прямоугольных областей, накрывающих дефект стекла

Вейвлет	Изображение
Реальное изображение	
Хаар	
Добеши 2	
Симлет 2	
Койфтел 1	

Из таблицы 1 следует, что наилучшим вариантом для текущей освещенности листового стекла является Коэфлет 1, но при другой освещенности так же могут применяться базисные функции вейвлетов Добеши 2 и Хаара. Причиной этого служит то, что вейвлеты Койфлета во многом похожи на вейвлеты Добеши и Симлета, но их форма симметрична, а вейвлеты Хаара и Добеши 2 имеют наименьшие фильтры.

Данный метод затрачивает меньше времени при своей работе, чем другие методы обнаружения с использованием технического зрения, которые в большинстве своем используют сравнение с эталоном. Уменьшение времени обнаружения связано с применением вейвлет - анализа, что дает возможность распознавания дефекта не на всем изображении, а на его выделенной части.

Литература

1. Ефимов И.В., Петров Д.Ю., Каплина Т.В. Экспертная система для идентификации точечных дефектов листового стекла // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Проблемы критических ситуаций в точной механике и управлении». – Саратов : Наука, 2013. - С. 50-52.
2. Булатов, В.В. Автоматизированное детектирование пороков листового стекла на основе технологии технического зрения [Текст] / В.В. Булатов, И.И. Абакумов, А.А. Кульчицкий, В.А. Шабанов // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета №2. – Иркутск: ИрГТУ, 2012 - С.21-26.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / М.: Издательство: ДМК-Пресс: 2005, 304с.
4. Штарк Г. Применение вейвлетов для ЦОС / М: Техносфера. 2007, 192с.

Е.Г. Карпова, к.э.н., ст. преп.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ СУБЪЕКТОВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Цель статьи – определение направлений моделирования взаимоотношений субъектов инновационного процесса с применением теории экономических систем и теории игр.

В соответствии с данной целью поставлены следующие задачи:

1. Разработать модель финансовых и производственных взаимодействий экономических систем (в рамках корпорации и вне ее) при управлении инновационным проектом.
2. Охарактеризовать разработанную модель в терминах управления корпоративными финансами
3. Построить модель управления проектом, показывающую результативность взаимодействующих экономических систем.
4. Предложить классификацию инструментов управления проектом на основе предложенной модели с применением теории игр.

С использованием положений новой теории экономических систем [1] разработана модель финансовых и производственных взаимодействий экономических систем при управлении инновационным проектом, охватывающая как саму корпорацию, так и внешние системы, показанная на рисунке 1.

Рассмотрим экономические системы и корпорацию как одну из них (блоки на рисунке 1), а также финансовые потоки и производственные взаимодействия корпорации с системами (на стрелках на рисунке 1).

На 1 этапе предлагаемой модели формируется структура капитала предприятия. Средневзвешенная стоимость капитала учитывает в себе все риски, связанные с финансированием деятельности организации, как из собственных источников финансирования, так и за счет заемных средств. Стоимость финансирования деятельности организации за счет собственного капитала отражает все риски, присущие инвестициям в виде акционерного капитала. Стоимость финансирования за счет заемных средств выражается в процентной ставке, по которой организации предоставляют кредитные ресурсы. Средневзвешенная стоимость капитала рассчитывается по формуле:

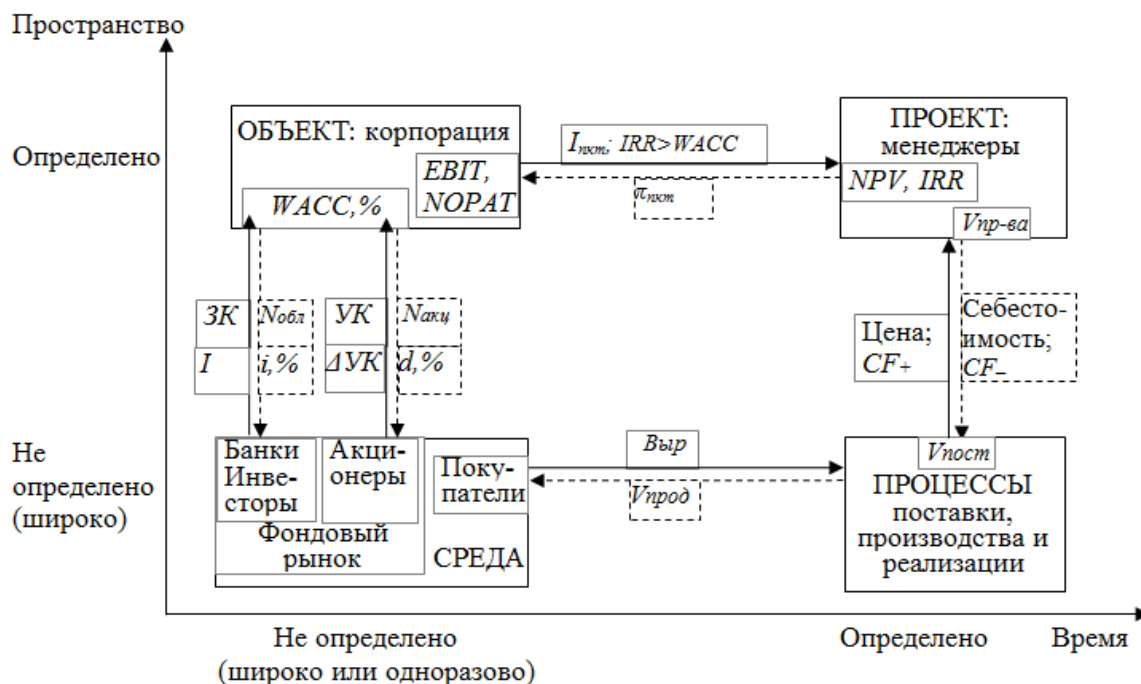


Рисунок 1 – Модель финансовых и производственных взаимодействий корпорации при управлении инновационным проектом

$$WACC = r_{СК} \cdot \frac{СК}{IC} + r_{ЭК} \cdot \frac{ЭК}{IC} \cdot (1 - T), \quad (1)$$

где WACC – средневзвешенная стоимость капитала;

$r_{СК}$ – стоимость собственного капитала, доли %;

$r_{ЭК}$ – стоимость привлечения заемных средств (проценты по займам), доли %;

$СК$ – среднегодовая стоимость собственного капитала, руб.;

$ЭК$ – среднегодовая стоимость заемного капитала, руб.;

IC – инвестированный капитал, руб.;

T – ставка налога на прибыль, доли %.

На рисунке 1 показаны показатели внутреннего финансирования, являющиеся результатами деятельности корпорации: *EBIT*, *NOPAT*.

На 2 этапе модели корпорация планирует реализацию инновационного проекта. Проект выступает в качестве самостоятельной экономической системы помимо системы-объекта. Проект как экономическая система имеет следующие признаки, которые должны учитываться в целях эффективного управления: наличие активного человеческого элемента, нестационарность; способность формировать варианты поведения; способность адаптироваться к изменяющимся условиям; способность изменять структуру, сохраняя целостность и жизнеспособность и др.

Предприятие планирует конкретный проект, осуществив его выбор как наиболее эффективного из альтернативных проектов. Передача инвестиций $I_{пкт}$ под данный проект осуществляется во времени (стрелка от Объекта к Проекту на рисунке 1). Принимается к реализации проект, внутренняя норма

доходности IRR которого больше, чем средневзвешенная стоимость капитала $WACC$, определенная на этапе передачи пространства объекту:

$$IRR > WACC.$$

В терминологии предлагаемой модели сравним указанные показатели через пространственно-временную характеристику. IRR характеризует ожидаемую доходность проекта. Если пространственно-временная отдача IRR превышает пространственную отдачу в виде цены капитала $WACC$, используемого для финансирования проекта, это означает, что после расчетов за пользование капиталом появится излишек, который достается акционерам фирмы. Следовательно, принятие проекта, в котором пространственно-временная отдача объекту IRR больше пространственной стоимости (цены капитала), повышает благосостояние акционеров:

$$\text{Пространственная стоимость} < \text{Пространственно-временная отдача}.$$

С другой стороны, если пространственно-временная отдача IRR меньше пространственной стоимости (цены капитала), тогда реализация проекта будет убыточной для акционеров. Этим и объясняется полезность применения критерия IRR для оценки инвестиционных проектов. Вместо IRR можно использовать $MIRR$ – модифицированный IRR , позволяющий установить более реалистичные промежуточные ставки рефинансирования и более тщательно отслеживать промежуточные денежные потоки.

Также выбор проекта может осуществляться без использования пространственно-временной отдачи IRR , а на основе положительного значения пространственно-временной стоимости, в виде которой выступает чистая текущая стоимость NPV :

$$NPV > 0.$$

В результате реализации проекта корпорация должна получить прибыль $\pi_{\text{пкт}}$ (стрелка от проекта к объекту на рисунке 1), т.е. должен увеличиться собственный капитал. В случае внешних заинтересованных лиц отдача по проекту от организации направляется во внешнюю среду. Различные финансовые показатели характеризуют проект с разных сторон и могут отвечать интересам различных групп лиц, имеющих отношение к данному предприятию (собственников, кредиторов, инвесторов, менеджеров).

После рассмотренного этапа расчета требуемых капитальных вложений в проект с использованием различных источников необходимо рассмотреть формирование конечной материально-вещественной формы продукта и осуществить прогноз будущего денежного потока, генерируемого данным проектом (этап 3).

На 3 этапе происходит передача пространства от процесса к проекту, причем она осуществляется в определенном времени. Здесь под временем может пониматься, например, период, входящий в следующее определение:

материальные оборотные средства целиком потребляются в течение одного периода производственного процесса. Их стоимость полностью входит в затраты на производство продукции, и это отражает передачу пространства. Соответственно, конкретизация пространства связана со следующими элементами, входящими в состав материальных оборотных средств: сырье и материалы, топливо, полуфабрикаты, незавершенное производство, расходы будущих периодов, и как результат – готовая продукция, предназначенная для реализации, находящаяся на складе и отгруженная покупателям, товары, предназначенные для перепродажи.

Пространственно-временным показателем модели выступает чистый поток денежных средств NCF , который определяется как разность текущих (временно-пространственных) доходов (приток) и расходов (отток), связанных с реализацией проекта и получением конечной материально-вещественной формы продукта и измеряемых количеством денежных единиц в единицу времени (денежная единица/ единица времени).

Чистый денежный поток NCF в рассматриваемом периоде времени в разрезе отдельных его интервалов рассчитывается следующим образом:

$$NCF = CF_{+} - CF_{-}, \quad (2)$$

где CF_{+} – положительный денежный поток (стрелка от процесса к проекту на рисунке 1);

CF_{-} – отрицательный денежный поток (стрелка от проекта к процессу на рисунке 1).

Процесс дисконтирования NCF был осуществлен на предыдущем этапе передачи времени от объекта к проекту, и в результате рассчитан NPV и сделаны выводы о выборе проекта. На данном этапе передачи пространства дисконтирование NCF не имеет ценности, а более важно формирование отрицательного денежного потока.

Процессы получают от предприятия-объекта в рамках его проекта различные выплаты, которые для самого объекта выступают как отрицательный денежный поток. Такие выплаты включают:

1. денежные выплаты поставщикам сырья и материалов, сторонним исполнителям отдельных видов услуг, обеспечивающих операционную деятельность, т.е. выплаты процессу поставки;
2. заработную плату персоналу, занятому в операционном процессе, а также осуществляющему управление этим процессом;
3. налоговые платежи организации в бюджеты всех уровней и во внебюджетные фонды, т.е. выплаты государству и др.

На этапе 4 произведенный объем производства $V_{np-ва}$ предприятие поставляет на рынок в объеме $V_{пост}$ (стрелка от процесса к среде на рисунке 1). При этом устанавливает цену на продукцию, и в результате реализации ее потребителю в объеме $V_{прод}$ получает денежную выручку $V_{ыр}$. Для выявления финансового результата необходимо сопоставить выручку с затратами на

производство CF и реализацию, которые принимают форму себестоимости продукции. Когда выручка превышает себестоимость, финансовый результат свидетельствует о получении прибыли. Передача прибыли $\pi_{пкт}$ была описана на стрелке от проекта к объекту на рисунке 1.

В таблице 1 предложена классификация инструментов управления проектом на основе модели управления проектом, включающей пять этапов, с применением теории игр.

Таблица 1 – Классификация инструментов управления проектом с использованием теории игр

Признак классификации	Классификация	Инструмент управления проектом	Показатель
I. Влияние среды на объект	пассивное влияние	анализ влияния среды на все объекты совокупности	$P_{пасс}^{Об}$
	активное влияние	анализ избирательного воздействия на отдельные объекты совокупности	$P_{акт}^{Об}$
II. Влияние среды на проект	прямое влияние	анализ тактической проектной среды	$P_{явн}^{Пт}$
	неявное влияние	анализ стратегической объектной среды, действующей неявно на проект	$P_{неяв}^{Пт}$
III. Передача ресурсов между системами	ресурс активности от среды к процессу	анализ внешнего планирования процесса средой	$P_{акт}^{Пс}$
	ресурс активности от объекта к проекту	анализ внутреннего планирования	$P_{акт}^{Пт}$
	пространственный ресурс объекта	анализ среды	$P_{пр}^{Об}$
	пространственный ресурс проекта	анализ средового процесса	$P_{пр}^{Пт}$
IV. Получение результата (выигрыша) взаимодействия между системами	выигрыш проектной системы	анализ игры проекта с процессом в пространственном измерении	$V_{пр}^{Пт}$
	выигрыш процессной системы		$V_{пр}^{Пс}$
V. Учет обратной связи (эффекта) в многократной игре систем	эффект, получаемый предприятием (объектом)	корректировка стратегии игрока-объекта в многократной игре в зависимости от полученного эффекта	$\mathcal{E}^{Об}$
	эффект $\mathcal{E}^{cp}$, передаваемый во внешнюю среду	анализ изменения стратегии игрока-среды в многократной игре в зависимости от полученного эффекта	$\mathcal{E}^{cp}$
	эффект $\mathcal{E}^{прс}$, передаваемый внешнему процессу	анализ изменения стратегии игрока-процесса в многократной игре в зависимости от полученного эффекта	$\mathcal{E}^{Пс}$

На рисунке 2 представлены показатели модели управления проектом, показывающие результативность взаимодействующих экономических систем.

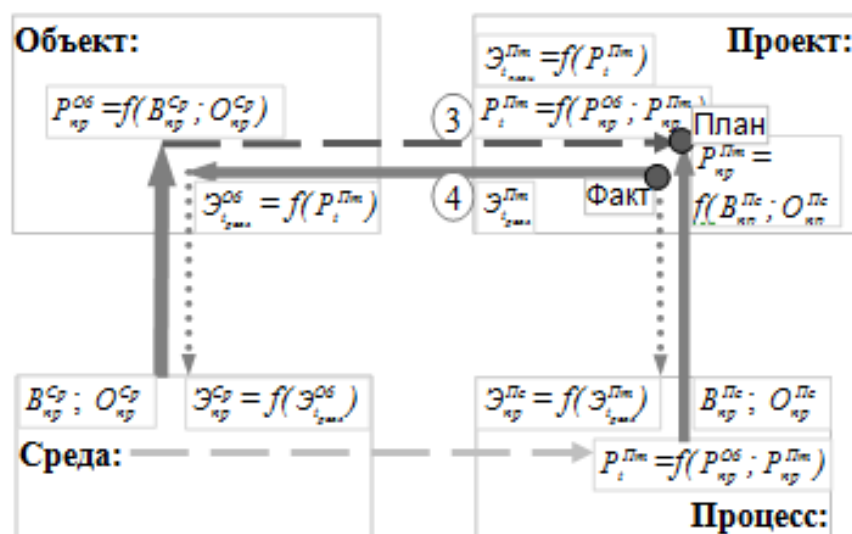


Рисунок 2 – Результативные показатели модели управления проектом

Таким образом, направления моделирования взаимоотношений субъектов инновационного процесса с применением теории экономических систем и теории игр позволяют учесть финансовые потоки, влияние внешней среды, обратную связь от полученного эффекта для повышения эффективности каждого из субъектов инновационного процесса.

Литература

1 Клейнер, Г.Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории / Г.Б. Клейнер // Вопросы экономики. 2013. № 6. С. 4–28.

**А.Ю. Ключин, к.т.н., доц., В.Н. Богатиков, д.т.н., проф., Б.В. Палюх, д.т.н., проф.,
Д.Э.Я. Окаи, асп. (Тверской Государственный технический университет)**
**МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА
ТАБЛЕТИРОВАННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ**

Авторы доклада выражают искреннюю признательность академику РАН Мешалкину Валерию Павловичу за помощь в постановке задачи данного научного исследования.

Разработка методических основ системного подхода к принятию решений по оптимальной организации автоматизированных энергоресурсоэффективных многоассортиментных химико-технологических систем производства таблетированных лекарственных форм представляет сложную специальную научно-техническую задачу [1]. Методическое обеспечение системного подхода к принятию решений сложных инженерно-технических задачах - это взаимосвязанная совокупность математических моделей, алгоритмов, процедур,

методик и программно-информационного обеспечения, различных нормативно-технических документов [2].

Также следует учитывать новую ситуацию, возникшую на мировом рынке фармацевтических твердых лекарственных форм, в связи с внедрением в мировую фармацевтическую промышленность стандартов ISO и требований GMP (Good Manufacturing Practice) - наилучшей производственной практики. Планирование и организация промышленного выпуска фармацевтических твердых лекарственных форм в соответствии с международными стандартами ISO и требованиями GMP, связано со значительными финансовыми затратами и предполагает строгое соблюдение жестких норм подготовки сырья и вспомогательных материалов, чистоты и технического обслуживания помещений, автоматизированного управления и контроля производства, также составления оптимального расписания выполнения работ профилактических обслуживаний оборудования производства для обеспечения повышения экономической эффективности.

Производство таблетированных лекарственных препаратов сегодня является одной из наиболее бурно развивающихся отраслей во всем мире, в т. ч. и Гане. Для повышения экономической эффективности многоассортиментных фармацевтических производств актуальной является задача автоматизированного управления химико-технологических систем производства таблетированных лекарственных форм.

Значительный вклад в развитие методологии системного подхода к анализу и оптимизации многоассортиментных ХТС внесли российские учёные: академик Кафаров В.В., академик РАН Мешалкин В.П., профессор Дворецкий С.И., профессор Дорохов И.Н., профессор Макаров В.В., профессор Островский В.А., профессор Егоров А.Ф., член корр. РАН Новиков Д.А., а также зарубежные ученые: L. Puigjaner, M. Mesarovic, V. Dovi, D. Masko, Y. Takagaha и ряд других исследователей. Однако, задачи системного подхода к принятию решений по оптимизации показателей энергоресурсоэффективности, оптимизации распределения нагрузок на оборудование и производственные участки энергоресурсосберегающих многоассортиментных ХТС производства таблетированных лекарственных форм имеют важное самостоятельное научное значение. В связи с этим, актуальной научной задачей является разработка методического обеспечения системного подхода к оптимальной организации автоматизированных энергоресурсоэффективных многоассортиментных ХТС производства таблетированных лекарственных форм, решение которой позволит повысить эффективность автоматизированных многоассортиментных производств лекарств.

Технологические характеристики изготовления твердых лекарственных форм зависят от количественного и качественного состава лекарства и от технологии производства. В настоящее время анализ литературы показал, что существует 3 основных технологических процесса получения таблеток (см. рис.1): путем прямого прессования веществ, через сухое гранулирование и через влажное гранулирование [3, 4].

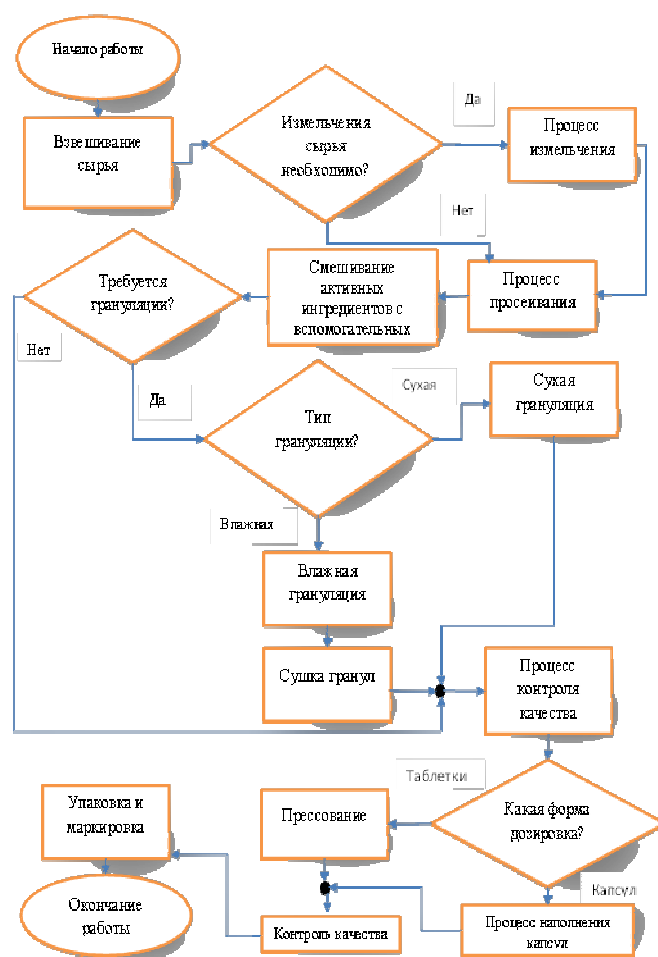


Рис.1. Блок-схема химико-технологических систем производства твердых лекарственных форм

Технологические процессы изготовления фармацевтических твердых лекарственных форм представляет собой сложный многостадийный периодический процесс, характеризующийся высокой стоимостью вспомогательных веществ, активных фармацевтических ингредиентов и оборудования которые могут стать причиной существенных экономических потерь в случае аварий и нештатных ситуаций [5].

Функциональная схема модели процедуры управления технологическим процессом производства твердых лекарственных форм показана на рис.2. При моделировании конкретных процессов основное внимание уделялось моделированию энергозатратной части, имеющей наибольший вес при работе данной системы. Для большинства процессов – это моделирование работы привода асинхронного электродвигателя.



Рис.2. Структура реализации системы контроля и управления

Д₁ - Датчик частоты вращения смесителя, Д₂ - Датчик частоты вращения гранулятора, Д₃ - Датчик давления сушилки, Д₄ - Датчик температура сушилки, Д₅ - Датчик частоты вращения ротора Таблеточная машина, Д₆ - Датчик подсчета таблетки, А₁ - Смеситель, А₂ - Гранулятор, А₃ - Сушилка, А₄ - Таблеточная машина, А₅ - Фасовочно-упаковочное оборудование

Технологический процесс производства лекарственных препаратов, включает несколько стадий: измельчение, просеивание, смешивание, грануляция, сушка гранулята, таблетирование (прессование), а также фасовка и упаковка. На каждом этапе производственного процесса используется определенный тип оборудования.

Анализ рассмотренных технологий позволил предложить модель на основе трёх иерархически соподчинённых уровней управления. Первый уровень - расчет оптимального вектора нагрузок и вектора моментов остановок линий на ремонт). Второй уровень - решение задачи выбора наилучшего аппарата для продолжения технологических операций работы производственных линий на основе метода динамического программирования. Третий уровень - модель коррекции нагрузок в динамике работы отдельных аппаратов.

На рис.3. приведем методику стратегии для управления оборудованием в процессе производства твердых лекарственных форм.

Предлагаемая методика используется для технической реализации вышеописанной иерархической процедуры управления многоассортиментных химико-технологических систем производства таблетированных лекарственных форм, которая повышает энергоресурсоэффективность, уменьшая число непредусмотренных и аварийных остановок оборудования, что приводит к снижению потерь сырья и электроэнергии, повышая качество продукции.



Рис.3. Методика стратегии для управления оборудованием в процессе производства твердых лекарственных форм

Список литературы

1. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. Учебник для вузов.- М.: Химия, 1991.-432 С.: ил. ISBN 5 - 7245 – 0366
2. Ключин, А.Ю. Математическое и программно-информационное обеспечение оптимальной организации энергоресурсоэффективных производств таблетированных лекарственных форм / А.Ю. Ключин, Б.В. Палюх, В.Н. Богатиков, Д.Э.Я. Окай //Труды участников X Международной научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (МНПК «ЛЭРЭП-10-2016»). Саратов, издательство: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2016.– С. 229-236
3. Чуешов В.И., Гладух Е.В., Ляпунова О.А., Сайко И.В., Сичкарь А.А., Рубан Е.А., Крутских Т.В. Промышленная технология лекарств [Электронный ресурс]. 2010. Режим доступа: // <http://ztl.nuph.edu.ua/html/medication/index.html>(дата обращения-19.04.2015)
4. Kristensen H. G , Schaefer T. Granulation, a review on wet granulation, Drug Dev. Ind. Pharm. 1987; 13(4&5): 803-872
5. Богатиков В.Н., Окай Джордж Эссах Яо, Ключин А.Ю. Системный анализ современных технологий производства твердых лекарственных форм и автоматизирование управления производством // Электронный научный журнал«Программные продукты, системы и алгоритмы», №1 от 11 апреля 2015 г. <http://swsys-web.ru/technology-of-production-of-solid-dosage-forms.html> (доступ свободный)

*И.В. Ковалева, студ.; Р.И. Баженов, к.п.н., доц.
(ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема»,
г.Биробиджан)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОМОГАЮЩЕЙ АБИТУРИЕНТУ ОПРЕДЕЛИТЬСЯ С ПОСТУПЛЕНИЕМ НА ФАКУЛЬТЕТ ПРИАМУРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ.ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА

В наше время информационных технологий появилось множество систем, которые могут частично заменить специалистов-экспертов в разрешении различных проблемных ситуаций. Такие системы называют экспертными. Исследования в этой области сконцентрированы на разработке и внедрении компьютерных программ, способных эмулировать (имитировать, воспроизводить) те области деятельности человека, которые требуют мышления, определенного мастерства и накопленного опыта.

Целью исследования является разработка в оболочке «Малая экспертная система 2.0» базы знаний, позволяющей при работе с ней абитуриенту Приамурского государственного университета им.Шолом-Алейхема определиться на какой факультет ему лучше поступать.

Созданием экспертных систем занимались многие ученые. А.О.Мазилов и Р.И.Баженов разработали экспертную систему диагностирования неисправности персонального компьютера [1]. С.Г.Гончарова и др. занимались разработкой экспертной системы для поддержки принятия решений при проектировании систем управления [2]. В.Н.Ручкин и др. создали экспертную систему нечеткой кластеризации нейропроцессорных систем [3]. Применением экспертных оценок к предметно-ориентированным информационным системам занимались Е.А. Матвеева и О.Н. Ольховая [4], а А.В. Иванченко и А.В. Мельников изучили роль экспертных систем при выборе и внедрении автоматизированных информационных систем на предприятии [5].

Для реализации созданной базы знаний использовалась программа «Малая экспертная система 2.0». Программа считается простой экспертной системой, использующей байесовскую систему логического вывода. Она специализирована для проведения консультации с пользователем в какой-либо прикладной области (на которую настроена загруженная база знаний) с целью определения вероятностей возможных исходов и использует для этого оценку правдоподобности некоторых предпосылок, получаемую от пользователя.

В информатике такие системы рассматриваются совместно с базами знаний, как модель поведения эксперта в определенной области и с использованием процедур логического вывода и принятия решений. База знаний для системы «Малая экспертная система 2.0» представляет собой текстовый файл, включающий три секции. В первой секции содержится описание базы знаний, имя автора, комментарии и т.д. Общая длина строк не должна превышать 10000 символов и данная секция заканчивается после первой пустой строки. Во второй секции содержаться вопросы, так называемые

свидетельства, на которые абитуриент будет отвечать самостоятельно. После последнего свидетельства следует одна пустая строка, и вторая секция заканчивается.

В данной базе знаний вопросы (свидетельства) выглядят так:

1. Нравится ли Вам изучать иностранные языки?
2. Вы хорошо понимаете географию и обществознание?
3. Вам нравится проводить время с детьми и учить их чему-нибудь новому?
4. Стремитесь ли Вы в дальнейшем иметь успехи в бизнесе и в управлении предприятием?
5. Легко ли решаете математические задачи?
6. Вы легко заводите новые знакомства и активно участвуете в мероприятиях?
7. Разбираетесь ли вы в компьютерных программах?
8. Вам нравится производить какие-то раскопки и вы отлично понимаете химию?
9. Нравится ли Вам изучать законы?
10. Нравится ли Вам изучать историю России и всего мира?
11. Вы охотно помогаете людям в их проблемах?
12. У Вас хорошая спортивная подготовка и Вы любите заниматься спортивными видами деятельности?

Рассмотрим формат записи вероятностей в базе знаний.

В секции перечисляются правила вывода: каждое задаётся в отдельной строке; перечисление заканчивается с концом файла. В начале описания правила вывода определяется исход, вероятность которого меняется в соответствии с данным правилом. Это текст, включающий любые символы, кроме запятых. После запятой записывается априорная вероятность данного исхода (P), то есть вероятность исхода в случае отсутствия дополнительной информации. После этого через запятую идёт ряд повторяющихся полей из трёх элементов. Первый элемент (i) – это номер соответствующего вопроса (симптома, свидетельства). Следующие два элемента ($P_y = P(E/H)$ и $P_n = P(E/\text{не}H)$) – соответственно вероятности получения ответа «Да» на этот вопрос, если возможный исход верен и неверен. Эти данные указываются для каждого вопроса, связанного с данным исходом.

Следует учесть, что $P \leq 0.00001$ считается равной нулю, а $P \geq 0.99999$ – единице, поэтому не следует записывать такие значения, так как исход с подобной априорной вероятностью не будет обрабатываться в системе.

Значения $P(E/H)$ и $P(E/\text{не}H)$, подставленные в теорему Байеса, позволяют вычислить апостериорную вероятность исхода, то есть вероятность, скорректированную в соответствии с ответом пользователя на данный вопрос:

$$P(H/E) = P(E/H) * P(H) / (P(E/H) * P(H) + P(E/\text{не}H) * P(\text{не}H))$$

или

$$P \text{ апостериорная} = P_y * P / (P_y * P + P_n * (1 - P))$$

Вероятность осуществления некой гипотезы Н при наличии определенных подтверждающих свидетельств Е вычисляется на основе априорной вероятности этой гипотезы без подтверждающих свидетельств и вероятностей осуществления свидетельств, при условиях, что гипотеза верна или неверна.

Приведем пример записи последней секции в разработанной базе знаний:

МИТТ,0.1, 1,0.4,0.2, 2,0.1,0.4, 3,0.4,0.2, 4,0.3,0.1, 5,1,0.1, 6,0.5,0.2, 7,1,0.1, 9,0.2,0.1, 10,0.2,0.1, 11,0.3,0.2, 12,0.3,0.1

Таким же образом данные вероятности прописываются для каждого факультета, отталкиваясь от того, как тематика вопроса связана с направлениями данного факультета.

Априорные вероятности исходов рассчитываются на основе статистических исследований, и их сумма должна быть меньше единицы. Следует отметить, что при большом количестве вопросов (свидетельств), можно не указывать их все в каждом правиле, так как среди них могут оказаться не влияющие свидетельства на вероятность данного исхода. Например, если физика не важна в обучении на направлении «История», то соответственно это свидетельство может не влиять на вероятность исхода у факультета, где обучаются на этом направлении.

В результате проведенной работы абитуриент проходит консультирование. При ответе на вопрос требуется ввести коэффициент уверенности по шкале от -5 до 5 (-5 - нет, 0 - не знаю, 5 - да). Возле названия факультета высчитывается вероятность, с которой абитуриент может поступать на этот факультет (рис. 1). Если при ответе на вопрос, введен коэффициент уверенности -5, то вероятность исхода в строке с названием факультета, к которому тематически относился вопрос, не будет высчитываться при ответе на следующие вопросы, т.е. на данном факультете не присутствуют направления, на которых абитуриенту было бы интересно и увлекательно обучаться. Если абитуриент отвечал на вопросы предельно честно, то и результат будет более точным. Для более удобного представления результатов их можно упорядочить либо по названиям исходов (в алфавитном порядке), либо по значениям текущих вероятностей. Это делается с помощью радио-кнопок снизу от области результатов. Так же вероятности исходов могут быть выражены в процентах.

Такой способ выявить интересы и способности, к какому либо виду деятельности, довольно прост. Абитуриент сможет решить для себя, на каком факультете ему будет интересней учиться и где он сможет получить достаточно знаний.

Таким образом, была разработана простая экспертная система, которая может использоваться в профориентационной работе кафедры.

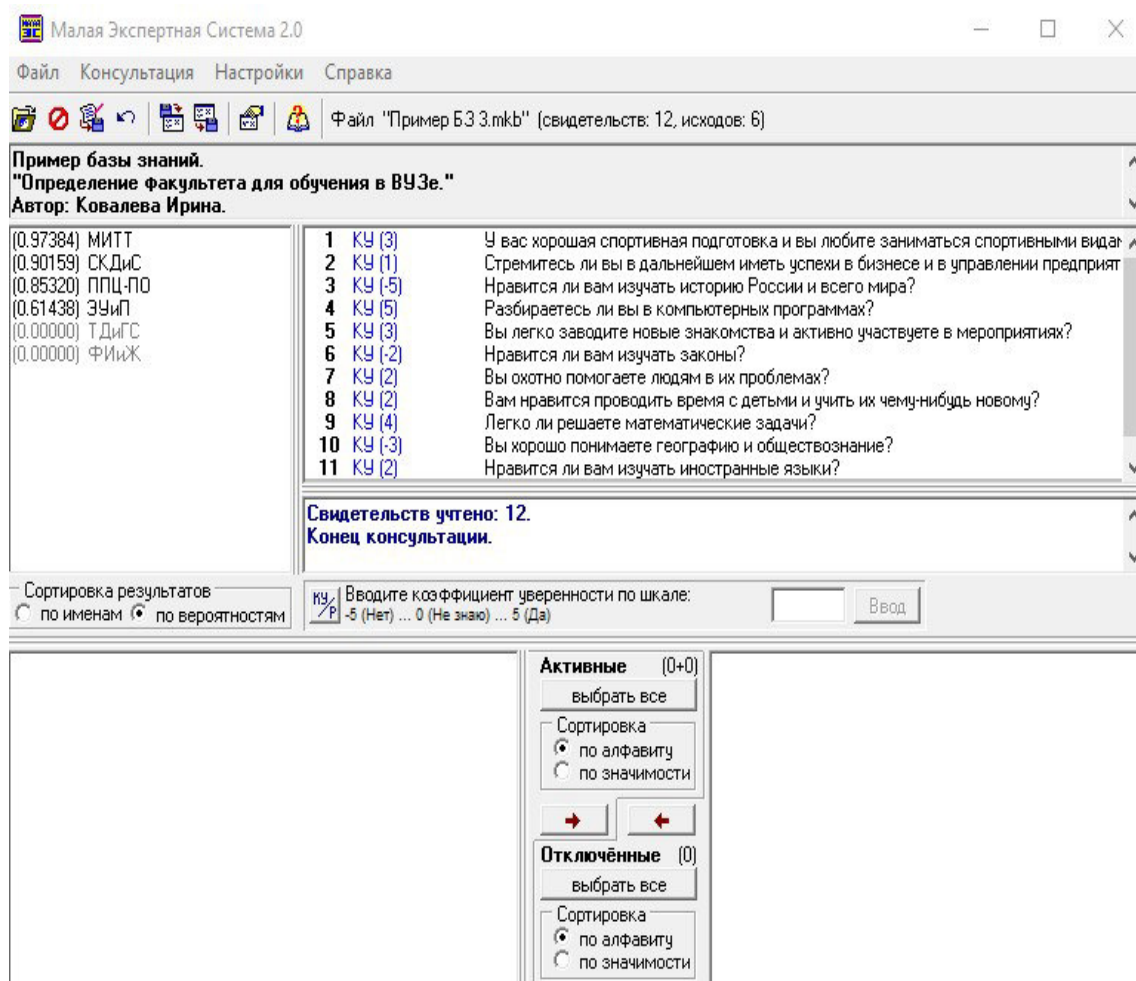


Рисунок 1 – Результат тестирования

Литература

1. Мазилев А.О., Баженов Р.И. Разработка экспертной системы диагностирования неисправности персонального компьютера // Nauka-Rastudent.ru. 2015. № 6 (18). С. 23.
2. Гончарова С.Г., Месягутов И.Ф., Ахметшина Г.Н. Экспертная система для поддержки принятия решений при проектировании систем управления // Автоматизированные технологии и производства. 2014. № 6. С. 58-62.
3. Ручкин В.Н., Романчук В.А., Фулин В.А., Пролыгина А.А. Экспертная система нечеткой кластеризации нейропроцессорных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 6. С. 162-167.
4. Матвеева Е.А., Ольховая О.Н. Применение экспертных оценок к предметно-ориентированным информационным системам // Инфокоммуникационные технологии. 2011. Т. 9. № 2. С. 46-49.
5. Иванченко А.В., Мельников А.В. Роль экспертных систем при выборе и внедрении автоматизированных информационных систем на предприятии // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2013. № 4. С. 59-63.

СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА КОРОТКИХ ДОКУМЕНТОВ

На сегодняшний день человечество столкнулось с серьезной проблемой роста информации, как в интернете, так и в повседневной жизни, которую необходимо фильтровать, классифицировать и рубрицировать, для облегчения её поиска и использования [1].

Текстовые документы делятся на несколько типов:

1. структурированные;
2. слабо-структурированные;
3. неструктурированные.

Обработка текста является очень сложной процедурой, если говорить о неструктурированных текстовых документах, написанных на естественном языке, решение которой требует привлечения экспертов анализируемых предметных областей, лингвистов, программистов и т.д. Для того, чтобы говорить об анализе текстовых документов определимся с самим понятием текстового документа - это информация представленная на бумажном, электронном или ином материальном носителе в текстовой форме.

Анализ текстовых документов решает огромное количество задач, таких как [2]:

1. классификация и кластеризация;
 2. рубрицирование;
 3. аннотирование;
 4. реферирование;
 5. машинный перевод;
 6. формирование ответов на вопрос;
 7. извлечение информации;
- и т.д.

Для решения проблемы накопления необработанных текстовых документов необходимо их рубрицировать, классифицировать, а далее извлекать информации, хранить и использовать. Для правильного хранения извлеченной информации текстовый документ предварительно необходимо проанализировать и определить его предметную область, следовательно очень важным этапом является рубрицирование. Рубрицирование в большинстве случаев использует статистические способы обработки текстовых документов. Но часто встречаются такие текстовые документы, которые содержат небольшое количество символов и включают в себя очень маленький процент ключевых слов по которым можно было бы определить предметную область используя статистические формулы, такие текстовые документы будем называть короткими.

Короткий текстовый документ - это текстовый документ, написанный на естественном языке и содержащий информацию в лингвистической или

цифровой форме, объем которого не позволяет применять известные процедуры статистического анализа текстов, но допускает использование для его анализа экспертной информации, полученной в результате комплексирования знаний лингвистов и специалистов рассматриваемых предметных областях.

Следовательно при анализе текстовых документов предварительно необходимо определить является ли он коротким, если является, то необходимо использовать разработанный способ рубрицирования, в противном случае, чтобы не усложнять процедуру анализа можно использовать стандартные статистические подходы. Иначе получим большую погрешность при анализе, в связи с неэффективной работой статистики в коротких текстовых документах.

На рисунке 1 представлена схема предлагаемой системы автоматизированного анализа текстовых документов.

Входящий текстовый документ регистрируется в системе, проводится сегментация текста и морфологический анализ. Сегментатор разбивает текст на предложения, слова и размечает его в XML формате для дальнейшей обработки. Морфологический анализ определяет леммы слов, а также их основные характеристики, такие как часть речи, род, число, падеж и т.п. Морфологический анализ использует базу данных морфологий подготовленную экспертом лингвистом, поиск лемм слов также может осуществляться по размеченному корпусу национального русского языка СинТагРус.

Далее необходимо определить является ли текстовый документ коротким, длинным или слишком коротким, если короткий, то анализ предметной области производится весовым способом, если длинный - то частотным, если же очень короткий - то проверяем текст на его пригодность к обработке и отправляем экспертам для ручного анализа и корректировки системы.

Весовой способ использует заранее подготовленную базу данных о весах слов, которые были вычислены алгоритмом обучения анализируя размеченный корпус текстовых документов по предметным областям. Также веса были скорректированы экспертом предметной области.

Частотный анализ использует базу данных частоты использования слов из подготовленного набора размеченных текстовых документов по предметным областям.

Далее проводится уточнение предметной области и синтаксический анализ MaltParser, который обучается на национальном корпусе русского языка СинТагРус.

После чего можем осуществить поиск необходимых знаний по определенной предметной области, определить важность документа и либо хранить полученную информацию в базе знаний для дальнейшего использования или отправить некоторому адресату для обработки заявки.

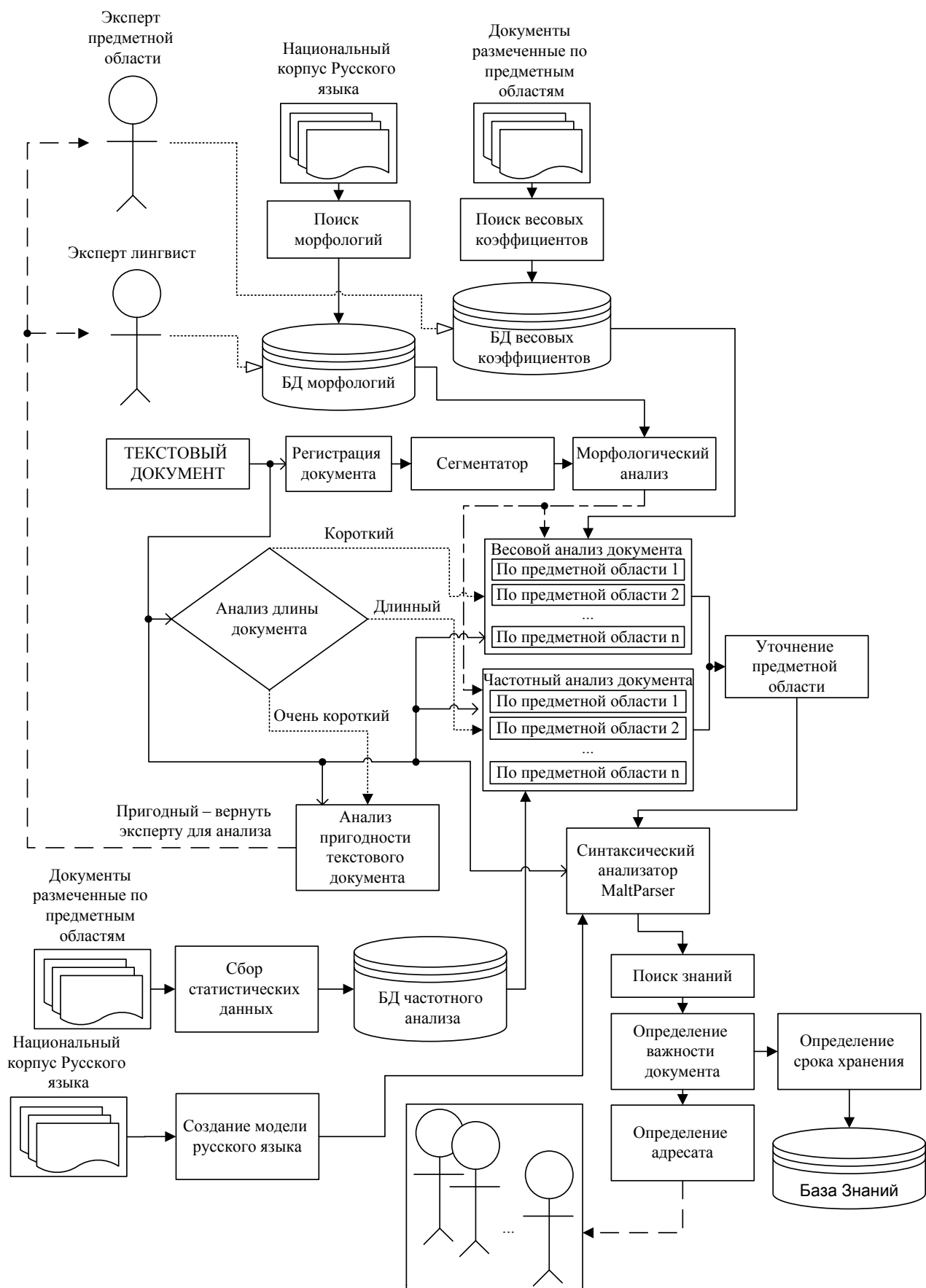


Рисунок 1 - схема работы система автоматизированного анализа текстовых документов
Литература:

1. Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие — М.: МИЭМ, 2011;
2. Леонтьева Н. Н. Автоматическое понимание текстов: системы, модели, ресурсы: учеб. пособие - М.: Издательский центр "Академия", 2006.

*М.Ю. Лебедева, к.т.н, доц.; А.С. Рындина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Российская Федерация является важнейшим поставщиком нефти на мировом рынке сырьевых ресурсов. Нефтяная отрасль считается одной из важнейших российских отраслей. Запасы нефти в России составляют 14,1 млрд. тонн, а доля от мировых запасов нефти – 6,1 %.

Для крупных промышленных организаций, имеющих повышенную техногенную опасность, к которым можно отнести нефтепроводы, важнейшим нюансом является наличие повышенной надежности систем автоматизации, так как для них недопустимы даже малейшие аварии ввиду возможного значительного ущерба.

Таким образом, решения, которые направлены на выполнение данного требования, должны иметь наивысший приоритет в процессе выбора как программно-аппаратных средств, так и методов управления, которые будут использоваться на всех уровнях автоматизации и деятельности организации.

Автоматизация технологических процессов приема, отпуска и учета нефтепродуктов дает возможность сформировать основу для внедрения систем управления производством, что в конечном счете позволит автоматизировать бизнес-процессы по сбыту нефтепродуктов, осуществляемые организацией.

Как правило, нефтяные организации обладают обширной территориальной зоной деятельности с большим количеством объектов (таких как АЗС, нефтебазы, офисы, филиалы и т.п.) и численностью персонала. Все это в совокупности значительно усложняет процесс комплексной автоматизации бизнес-процессов.

Автоматизация сложных бизнес-процессов требует системного и комплексного подхода к решению задач. Поставленные задачи могут быть решены путем внедрения современной корпоративной автоматизированной системы управления нефтепродуктообеспечением, которая позволит автоматизировать процессы приема, безоператорного отпуска и учета нефтепродуктов, а кроме того мониторинг их наличия на автомобильных заправочных станциях (рисунок 1).



Рисунок 1 – Комплексная автоматизация системы учета нефтепродуктов

Комплексная автоматизация системы управления нефтепродуктообеспечением должна представлять собой программно-аппаратный комплекс, который будет включать в себя интегрированные технологические подсистемы:

1. Верхнего уровня – реализуется с применением программного обеспечения, которое будет функционировать на централизованном корпоративном сервере в многопользовательском режиме. В данной подсистеме выполняется администрирование системы, обеспечивается доступ пользователей к журналам транзакций и отчетам, формируется вся нормативно-справочная информация системы и регистрируются два типа карт доступа к подсистеме безоператорного отпуска: топливная карта (авторизует автомобиль при заправке) и сервисная карта (авторизует процедуру слива нефтепродуктов из бензовоза).

2. Безоператорного отпуска. Реализация подсистемы будет осуществляться с помощью использования терминалов безоператорного отпуска и функционировать в режиме offline при помощи использования справочной информации, которая будет сформирована в подсистеме верхнего уровня. Авторизация же автомобиля на терминале будет производиться с применением пластиковой смарт-карты и ввода идентификационных данных (ID) путевого листа. Ввод ID может быть осуществлен вручную или же путем считывания штрихкода со смарт-карты. Процесс отпуска нефтепродукта на АЗС формируется по усмотрению для каждого транспортного средства и осуществляется путем ввода необходимой дозы на клавиатуре безоператорного терминала отпуска или до полного бака (объем отпуска не может быть больше номинального объема топливного бака транспортного средства и не должен превышать установленного базового суточного лимита отпуска). Все транзакции, совершаемые на терминале, будут записываться в базу данных терминала. Передача транзакций с терминала в подсистему верхнего уровня будет производиться только один раз (в случае успешного завершения сеанса обмена данными). Передача информации о транзакциях в подсистему верхнего уровня будет производиться с периодичностью, определяемой в настройках системы. В случае возникновения внештатной ситуации (например, выхода из

строю терминала безоperatorного отпуска) отпуск нефтепродуктов на автозаправочной станции будет осуществляться путем управления топливораздаточной колонкой или же при помощи пульта дистанционного управления. Все транзакции отпуска нефтепродуктов на АЗС, осуществленные без использования терминала безоperatorного отпуска, фиксируются в журнале учета отпуска нефтепродуктов и впоследствии интегрируются в подсистему верхнего уровня.

3. Автоматизированного учета нефтепродуктов – реализуется с применением автоматизированной системы измерения уровня нефтепродукта в резервуаре, определения его плотности и температуры. Данная подсистема функционирует в интеграции с безоperatorными терминалами отпуска и подсистемой верхнего уровня.

Внедрение данной системы позволит реализовать единую централизованную систему управления АЗС, а также внедрить безоperatorный отпуск топлива при заправке автотранспортных средств с применением пластиковых смарт-карт, а также автоматизировать количественный учет нефтепродуктов на складах.

Проведенный анализ и декомпозиция решаемых задач, задействованных средств в составе автоматизированных комплексов позволил выделить следующие группы подсистем:

- подсистемы управления технологическими процессами нижнего уровня (уровень исполнительных механизмов, датчиков, промышленных объектов, программируемых контроллеров);

- подсистемы управления технологическими процессами верхнего уровня (уровень серверов, автоматизированных рабочих мест (АРМ), программного обеспечения, локально-вычислительных сетей);

- подсистем управления финансово-экономической и производственно-хозяйственной деятельностью организации, являющейся частью подсистем автоматизированных систем управления предприятием (АСУ П).

В состав подсистем управления технологическими процессами верхнего уровня входят: распределенные системы управления (Distributed Control Systems – DCS) и системы диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control And Data Acquisition – SCADA-системы).

Направления усовершенствования данных систем таковы, что разница между ними со временем становится малозначимой. Данные системы представляют собой прикладное ПО, которое обеспечивает взаимосвязь информационных потоков между автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП) нижнего уровня и АСУ П.

Идея SCADA-систем состоит в применении совершенных средств накопления данных, отображения данных и дистанционного управления ими. Следовательно, можно отметить две главные функции, которые выполняются SCADA-системой:

1. сбор всех данных о контролируемом процессе;

2. управление процессом, реализуемое ответственными лицами на основе полученных данных и критериев, обеспечивающих эффективность и безопасность выполнения процесса.

Кроме того, SCADA обеспечивают выполнение таких не маловажных функций как [2]:

- прием данных о контролируемых параметрах от контроллеров и датчиков;
- сохранение поступающей информации в архивах;
- обработка принятых данных;
- графическое отображение хода процесса, а так же предоставление в удобной форме принятой и архивной информации;
- получение команд от оператора и их передача в адрес исполнительных механизмов и контроллеров;
- регистрация событий, которые связаны с контролируемым процессом и действиями персонала;
- уведомление обслуживающего персонала об обнаруженных аварийных ситуациях;
- формирование документов отчетности на основе архивной информации;
- интеграция с информационной системой управления организацией.

К SCADA-системам относятся отраслевые иерархические многоуровневые системы автоматизированного управления в режиме реального времени с распределенной обработкой данных на нижних уровнях и с многотерминальным доступом пользователей на верхних и средних уровнях, эксплуатируемых в тяжелых промышленных условиях.

Приведенные выше иерархические элементы соответствуют модели автоматизированной организации (рисунок 2) сегментам взаимодействия АСУ ТП на уровнях:

- подсистем АСУ П, которые осуществляют взаимодействие с АСУ ТП;
- корпоративной сети передачи данных;
- SCADA-систем АСУ ТП;
- телекоммуникационной и информационной инфраструктуре АСУ ТП верхнего уровня.

Для эффективной разработки и реализации систем комплексной автоматизации управления использование модульных компонентов программного обеспечения – одно из важнейших условий. Многократно используемые компоненты со стандартными интерфейсами позволяют создавать расширяемые и масштабируемые приложения.

Усилия при создании ПО должны быть ограничены проектированием новых компонентов и методов управления, которые пока не реализованы. Если части SCADA-системы организованы в малых стандартизированных модулях, то их можно многократно использовать в других проектах. Связь и синхронизация различных частей ПО должна обеспечиваться самой средой, т. е. разработчики проекта могут сосредоточить свою работу на методах, необходимых для управления процессами.



Рисунок 2 – Модель автоматизированной организации

Все методы должны быть реализованы с помощью простых модулей со стандартным (открытым) интерфейсом. Каждый модуль может обладать определенным (стандартным) набором связей. Управляющая программа должна состоять из структуры модулей, которые связаны между собой и объединенных в группу. Это позволяет использовать стандартный подход в программировании на всех уровнях системы.

Все описанные организационно-технические мероприятия по автоматизации бизнес-процессов на нефтяных организациях позволят перейти на принципиально новый уровень управления. При этом будут использоваться новые возможности стандартных технических решений, которые применяются на большинстве организаций нефтепромышленного комплекса, которые, прежде всего, послужили целям повышения эффективности работы транспортной системы, своевременности управления потоками нефтепродуктов. Достижение указанных целей обеспечит рост надежности поставок нефтепродуктов потребителям, безаварийность работы организации, повышение производительности труда.

Подводя итоги, полученные положительные результаты анализа позволяют говорить о значимости и необходимости дальнейшего проведения работ по комплексной автоматизации различных бизнес-процессов организаций нефтяной отрасли.

Литература

- 1 BPstats. Statistical Review of World Energy 2015 (англ.). BP (10 June 2015). Проверено 17 июня 2015.
- 2 Андреев Е. Б., Куцевич Н.А. SCADA-системы: взгляд изнутри [Электронный ресурс] : www.scada.ru.
- 3 Шарапов В. А. АСУТП – фундамент автоматизации предприятия [Электронный ресурс]: <http://www.iemag.ru/analitics/detail.php?ID=15985>

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОДВИЖЕНИЯ САЙТОВ В ИНТЕРНЕТЕ

В настоящее время любая сфера жизни человека неразрывно связана с развитием информационных технологий и Интернета. По данным We Are Social в своём докладе Digital in 2016 общее количество постоянных интернет-пользователей 7,395 миллиардов людей, это означает, что уже треть населения планеты Земля не может представить свою жизнь без всемирной паутины. Что же касается России, то в настоящий момент она занимает четырнадцатое место в мире по числу интернет-пользователей [1].

Популярность Интернета естественным образом связана с непрерывно возрастающим объемом информации и способами её представления и оформления. В связи с этим всё более актуальным становится создание не просто качественных, но и интересных, привлекающих к себе внимание сайтов. Согласно данным аналитического отчета компании Netcraft, в сентябре 2016 количество работающих в интернете сайтов и персональных блогов впервые в истории превысило 1 млрд и составило 1 022 954 603 узла. Это на 31 млн хостов больше, чем месяцем ранее. Как известно, подавляющее большинство сайтов являются коммерческими. Так, в условиях многомиллионной конкуренции необходимо заботиться не только о своевременном наполнении сайта актуальной информацией, но и его правильном позиционировании и постоянном продвижении, иначе популярность сайта может оказаться кратковременной, либо же вовсе сойти на нет.

Для увеличения посещаемости сайта, развития интереса у целевой аудитории и для расширения клиентской базы желательно широко использовать различные рекламные инструменты и возможности, которые они предоставляют. Среди рекламных инструментов для продвижения сайтов различают так называемые «белые», «серые» и «черные» методы повышения посещаемости. Что соответствует легальным, полуполегалым и нелегальным действиям в отношении web-приложения. К «белым» методам можно отнести следующие:

- поисковое продвижение (SEO);
- медийная (баннерная) реклама;
- видео-реклама;
- таргетированная реклама;
- товарные агрегаторы;
- купонаторы;
- тизерная реклама;
- аудио реклама;
- реклама в онлайн-играх;
- контекстная реклама;
- социальные сети (SMM);

- мобильные приложения;
- контент-маркетинг;
- регистрация в тематических каталогах;
- рассылки, не относящиеся к спаму.

Под полулегальными действиями понимается искусственное увеличение количества ссылок на сайт (ТИЦ), вызванное их приобретением за деньги. Однако сложно выявить именно этот факт покупки ссылок, потому метод нельзя отнести к запрещенным. Ведь считается, что если web-приложение действительно хорошее, обладает качественной информацией и интересным контентом, то другие сайты будут сами ставить на него ссылки, как на авторитетный и полезный ресурс в помощь пользователям. А это вполне законно. Для борьбы с покупными ссылками поисковая система Яндекс разработала алгоритм «Минусинск», который определяет сайты, которые используют SEO-ссылки для поискового продвижения, и ограничивает эти сайты в ранжировании на срок от одного до нескольких месяцев. Таким образом, использование SEO-ссылок может привести к значительной потере трафика из поисковых систем.

К незаконным методам чаще всего относятся действия, направленные на получение результата в максимально сжатые сроки путем обхода общепринятых способов увеличения индексации. К таким действиям можно отнести:

- использование скрытого текста с популярными словами и скрытых ссылок на страницах сайта;
- использование подложной страницы, созданной под определенный Интернет-запрос, и перенаправление на нужный сайт (Кликджекинг);
- использование скрипта, анализирующего IP адреса роботов, индексирующих сайты, и обычных пользователей с целью изменения содержания контента в зависимости от того, кто посещает сайт;
- переизбыточное использование ключевых слов.
- первоначальное создание сайта с контентом, максимально хорошо индексируемым поисковиками, и дальнейшее переделывание приложения при достижении нужной позиции.

Для борьбы с нелегальными методами продвижения сайтов поисковые системы создают различные алгоритмы, которые выявляют некорректное поведение сайта и накладывают на них фильтры. В таблице 1 представлены фильтры Яндекса.

Таблица 1 – Фильтры Яндекса

Поисковый спам	Контент	Другие
Ссылочный спам	АГС	Аффилиат-фильтр
Накрутка поведенческих факторов	Переоптимизация	Кликджекинг
Черное SEO	Взрослый контент	
Непот-фильтр	Агрессивная реклама	

В ходе анализа легальных методов продвижения сайтов было выявлено, что для эффективной поисковой оптимизации необходимо зарегистрировать

доменное имя, максимально отражающее название, специфику либо область деятельности организации. Чем более ярким и запоминающимся оно будет, тем больше вероятность, что посетитель запомнит адрес. Так сайт информационного агентства «РИА Новости», имеющий короткое название домена ria.ru, имеет более миллиона уникальных посетителей в день. А посещаемость социальной сети «ВКонтакте» с коротким адресом vk.com приближается к отметке 50 млн. в день. Однако существуют и исключения из правил: так, во время падения популярности социальной сети classmates.km.ru (в настоящее время сеть «В кругу друзей») руководство сайта решило зарегистрировать тридцатидевяти-буквенный домен KakZdorovoChtoVseMyZdesSegodnyaSobralis.ru и перенести на него сайт. Вследствие чего сайт получил широкую рекламу и привлек более 15 тысяч новых пользователей. Нельзя забывать и о качестве URL-ссылок страниц. Их названия должны быть интуитивно понятны пользователю, унифицированы между собой и желательно, чтобы имели как можно меньше вложенностей. Высоко ценятся поисковыми системами ЧПУ – человеко-понятный URL, написанный кириллицей.

Также в рамках поисковой оптимизации часто используют файл `robots.txt`, который позволяет исключить из поля зрения поисковых роботов папки для того не предназначенные, увеличивая тем самым скорость и качество сканирования информации поисковиками. Отсутствие файла `robots.txt` отрицательно влияет на продвижение сайта. Также важен файл `sitemap.xml` – это карта сайта, которая помогает роботам проводить индексацию страниц [2].

Положительно влияет на продвижение сайта настройка главного зеркала. Если доменных имен несколько – выбрать одно основное, а с других настроить 301 редирект. Например: www.yandex.ru – основной, www.яндекс.рф – зеркало. Также необходимо выбрать, как будет открываться домен, с `www` или без `www` и настроить 301 редирект. Помимо этого необходимо настроить 404 ошибки – это страница сайта, которая не существует на данный момент или никогда не существовала вовсе. Её надо сделать понятной, интересной, с возможностью перехода на сайт.

Немаловажную роль играет использование мета-данных. Чем лучше подобраны ключевые слова в мета-тэгах и самом контенте, тем более высокие позиции занимает сайт в выдаче поисковой системы. Для начала необходимо сформировать семантическое ядро, далее классифицировать запросы и на основе данных запросов составить `title`, `description`, `keywords`. Также запросы необходимо использовать при наполнении контентом сайт. Стоит отметить, что уникальность содержания информации, выложенной на сайте, благотворно сказывается на популярности не только при поиске системами, но и, в первую очередь, среди непосредственно пользователей ресурсом. Грамотно подобранная, ненавязчивая контекстная реклама, адаптирующаяся к нуждам пользователя может увеличить посещаемость сайта при условии выбора подходящей системы анализа запросов клиента (так, в Google меньше целевой русскоязычной аудитории, и, следовательно, стоимость рекламы более низкая

чем в Yandex), учета сезонности и готовности сайта удовлетворить запросы пользователя.

Полезно анализировать и социальные сети на предмет присутствия в них потенциальной целевой аудитории, которая может быть перенаправлена на сайт посредством рекламы, либо же сообществам, посвященным деятельности сайта. Особенно удобно размещение рекламы на подобного рода площадках, так как современные технологии позволяют четко ограничить рамки целевой аудитории: возраст, пол, географическое расположение, интересы. Это достаточно мощный рычаг увеличения посещаемости сайта, так как действие рекламы направлено не на весь рынок, а на конкретную целевую группу людей, что может значительно сократить затраты организации на поиск новых клиентов. Кроме того, такая реклама относительно дешёвая и доступная. Чем более высок процент наличия информации о сайте в различных социальных сетях, тем больше вероятность, что он заинтересует и привлечет новых пользователей [3].

Относительно тизерной и баннерной рекламы существуют различные мнения. В некоторых случаях она действительно привлекает пользователей и значительно увеличивает посещаемость сайта, но, используя этот инструмент продвижения, важно не переусердствовать. Важно сконструировать тизеры и баннеры таким образом, чтобы они вызывали живой интерес и желание перейти по ссылке, а не раздражение и досаду. Если сайт полезен потребителю, интересен и удобен в использовании, то его шансы стать популярным выше, чем у просто хорошо индексируемого аналога. Иначе, даже если сайт будет занимать высокие позиции в основных поисковых системах, но представлять по своей сути приложение с информационным мусором, число заинтересовавшихся им людей может не только не увеличиться, но даже уменьшиться.

Таким образом, можно сказать, что самым главным и эффективным инструментом продвижения сайта является наполнение сайта уникальным контентом и комплексное сочетание всех вышеперечисленных техник позиционирования сайта. Также было определено, что данные техники эффективны и работают, при наличии систематических проверках всех показателей, влияющих на позиционирование сайта и оперативной обратной связи. При соблюдении всех вышеуказанных условий, возможно коммерчески и экономически эффективное продвижение сайта, что в свою очередь положительно скажется на конкурентоспособности организации в текущих экономических условиях и позволит повысить основные экономические показатели.

Литература

1. We Are Social [Электронный ресурс]: Digital in 2016 // URL: <http://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2016> (дата обращения: 07.10.2016).
2. М. Стелзнер. Контент-маркетинг. Новые методы привлечения клиентов в эпоху Интернета. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012, 288 с.
3. Джим Кокрум. Интернет-маркетинг. Лучшие бесплатные инструменты. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013, 384 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ К ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ

В марте 2014 года США, ЕС и другие страны, начали активно вводить санкции в отношении России, причиной этому стали хорошо известные события: присоединение Крыма к России и конфликт на востоке Украины. Россия ввела ответные санкции, в числе которых продуктивное эмбарго в отношении продовольственных товаров из ЕС, США, Австрии, Норвегии и Канады. Именно введение этих ограничений заставило всех говорить об импортозамещении. По оценкам Минпромторга [1], только порядка 30% товаров и услуг, используемых в России, производятся в стране, остальные 70% закупаются за рубежом. Анализируя приведенные данные, можно понять, почему введение санкций так остро отразилось на экономическом состоянии России.

Использование самого понятия «импортозамещение» навевает мысли о том, что теперь будут использоваться товары и услуги идентичные западным, с той лишь разницей, что они произведены в России (замещать один товар другим с наименьшей разницей для потребителя). Возможно, такой подход будет правильным относительно продуктов питания, но не в сфере машиностроения или информационных технологий и т. п. Поэтому, в рамках данной статьи будет идти речь об «импортонезависимости», то есть о производстве конкурентной продукции и снижении зависимости от импорта.

По оценкам Минпромторга [2], в 2014 году, то есть на период начала введения санкций, доля используемого в России зарубежного программного обеспечения (ПО) составляла 67%, а доля аппаратного обеспечения – 90%. Но отечественные производители ПО [3] уже имеют в своем запасе альтернативные решения, которые могли бы заменить ПО зарубежных производителей (таблица 1).

Таблица 1 – Альтернативные решения в области программного обеспечения

Направление	Зарубежные решения	Российские решения
Промышленная автоматизация		
Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП)	Honeywell	RTSoft
Управление поставщиками (SRM)	SAP, Microsoft	БАРС груп, Malahit, NAUMEN
Управление технологическим обслуживанием и ремонтом (ТОиР)	SAP, ORACLE	ТЕХНОСЕРВ консалтинг, Спец Тек, Компас, Галктика
Управление складом (WMS)	SAP, KNAPP, Manhattan Associates	1C, SOLVO, AXELOT AX

Продолжение таблицы 1

Направление	Зарубежные решения	Российские решения
Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ)	SIEMENS	КРУТ, RTSoft
Управление жизненным циклом изделия (PLM)	SAP PLM, SIEMENS, ORACLE, hp	АСКОН, ИРИСОФТ, Топ Системы
Управление данными об изделии (PDM)	SolidWorks	АСКОН, ИРИСОФТ, НЕОЛАНТ, APPiUS
Управление автоматизированного проектирования и инженерного анализа (CAD/ CAM/ CAE/ CAPP)	AUTODESK AUTOCAD, SIEMENS, InterGRAPH, DSCatia	АСКОН, ИРИСОФТ, SDI Solution
ИТ-инфраструктура и безопасность		
Центр обработки данных (ЦОД) и облачные вычисления	IBM, Microsoft, HUAWEI, ORACLE, HITACHI	Ростелеком, МЕГАФОН, orange, ТЕХНОСЕРВ
Система управления базами данных и операционная система	ORACLE, IBM, Microsoft, software	ЛИНТЕР
Системы хранения данных	IBM, hp, HUAWEI, HITACHI, EMC ²	DEPO, AQUARIUS
Системы и сети передачи данных	CISCO, HUAWEI	Symanitron, Ростелеком, orange
Унифицированные коммуникации	CISCO, HUAWEI, AVAYA	Symanitron, Ростелеком, oktell
Управление информационными технологиями	OmniWay, NetCracker, Microsoft, hp	ТЕХНОСЕРВ, NAUMEN
Информационная безопасность	HUAWEI, ORACLE, CISCO, STONESOFT, SafeNet	Лаборатория Касперского, Код Безопасности, Аладдин

Несмотря на достаточное количество отечественных программных продуктов, выполняющих функции аналогичные широкоиспользуемым программным продуктам западного производства, вопрос внедрения состоит не только в переходе российских организаций на другое программное обеспечение, но и в стимулировании спроса на это самое программное обеспечение. Так, например, по данным IDC [4] в 2015 году значительные доли рынка поставщиков ПО ИСУП приходились на SAP (48,9%) и 1С (32,7%), причем по сравнению с предыдущим годом, 1С увеличил свой сегмент рынка на 2%. Можно предположить, что фактором, стимулирующим спрос, в данном случае, оказалось Постановление Правительства РФ от 16.11.2015 N 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Также, необходимо отметить, что в разных направлениях организации бизнеса прослеживается разное соотношение использования зарубежных решений по отношению к отечественным. Так, например, в области бухгалтерских систем правовых баз

знаний, абсолютное преимущество – у отечественных поставщиков, а в области ERP, ECM и аналитики, зарубежные и отечественные производители находятся практически «на равных».

В любом случае, не стоит ожидать быстрого ухода от западных систем и разработок, так как это связано не только с большими экономическими затратами для организации на приобретение лицензий и оборудования, но и с переобучением персонала, ошибками и «застоями» на начальных этапах работы и другими факторами. По некоторым оценкам [5] этот процесс займет от 5 до 10 лет. Не стоит забывать и о том, что в России на данный момент не производится полного спектра аппаратного и программного обеспечения и полного спектра комплектующих частей для стопроцентно российских ИТ-решений.

Одним из возможных решений для снижения зависимости от западных программных и аппаратных решений, является внедрение разработок азиатских брендов, но при этом существует вероятность того, что такая замена не будет стимулировать развитие отечественной ИТ-индустрии, а попросту «вытеснит» отечественные компании с рынка информационных технологий. Другим решением в области программного обеспечения является использование программных решений с открытым исходным кодом, которые распространяются на бесплатной основе. Такие решения имеют свои преимущества в том, что разработчики имеют возможность дорабатывать решения в соответствии с требованиями заказчиков и внедрять их на отечественных аппаратных платформах. Но без государственной поддержки, не только экономической, реализация подобных решений превратится в долгий и практически невозможный процесс. В связи с этим большое значение имеет Федеральный закон от 24.07.2009 N 212-ФЗ (ред. от 03.07.2017) «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» которым устанавливается продление льгот на выплату страховых взносов для российских ИТ-компаний, производящих программное обеспечение. ИТ-компании, аккредитованные при Минкомсвязи, платят страховой взнос в размере 14% от фонда заработной платы, вместо 30%, до 2027 года.

Основой дальнейших действий в направлении импортозамещения и импортонезависимости России должно стать полное замещение функций зарубежного ИТ-продукта российскими разработчиками при равном или лучшем качестве исполнения, при этом производительность труда должна быть выше, чем у конкурентов, а издержки – ниже.

Литература

1. Доклад «О целях и задачах Минпромторга России на 2016 год и основных результатах деятельности за 2015 год» : [Электронный ресурс] // Минпромторг. URL: http://minpromtorg.gov.ru/open_ministry/services/docs/ (Дата обращения: 18.09.2016).
2. Стенограмма Итогового заседания Коллегии Минпромторга России «Об итогах работы в 2014 году и основных направлениях деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации в 2015 году и в последующие годы» : [Электронный ресурс] // Минпромторг. URL: http://minpromtorg.gov.ru/open_ministry/services/docs/ (Дата обращения: 18.09.2016).

3. Импортзамещение в сфере ИТ: вызовы и ответные меры // Пермский СЮ клуб. – 2014 . – август [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: http://www.cioperm.ru/doc_2014/prez_tehnoserv_importzam.pdf (Дата обращения: 18.09.2016).
4. Попсулин С. «1С» и SAP укрепили позиции на рынке ERP-систем в России // Интернет-издание о высоких технологиях – Cnews. – 2016. – 24 июня [Электронный ресурс]. URL: http://www.cnews.ru/news/top/2016-06-24_sap_i_1s_ukrepili_pozitsii_na_rynke_korporativnogo (Дата обращения: 18.09.2016).
5. Иванов Б. Импортзамещение в ИТ: производителям нужно начинать с интеграторов // PCWeek/RE («Компьютерная неделя»). – 2015. – 14 сентября [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pcweek.ru/business/article/detail.php> (Дата обращения: 18.09.2016).

Д.Ю. Попова, асп.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ КПД ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Одной из современных тенденций при создании, совершенствовании и управлении сложными техническими системами является обобщение, моделирование и автоматическая актуализация выявленных зависимостей из огромного объема накапливаемых экспериментальных данных. К таким системам относятся центробежные компрессоры, предназначенные для сжатия и транспортировки газов, а также используемые в химической, металлургической и других видах промышленности. Зачастую специалисты не в состоянии охватить все события и явления, а также всевозможные их комбинации в процессе функционирования. Ограниченность возможностей экспериментального исследования таких сложных систем делает актуальной разработку способов их моделирования.

Необходимость моделирования при работе со сложными техническими системами вызвана многокомпонентностью объекта исследования, значительными финансовыми и временными затратами, а зачастую и невозможностью его непосредственного изучения.

В работе [1] указывается, что диагностика явлений газодинамической неустойчивости в центробежных компрессорах с помощью математического моделирования позволяет корректно проводить помпажные испытания и настройку систем антипомпажной защиты без ввода компрессора в опасные режимы «жесткого» помпажа.

В отличие от традиционных методов, нейросетевое моделирование не предоставляет сколько-нибудь прозрачной картины зависимости выходных параметров системы от входных. По сути, нейросетевая модель для исследователя представляет собой чёрный ящик. Однако нейросетевые модели находят своё применение в ситуациях, когда традиционные модели невозможно или крайне тяжело построить, а также в ситуациях, когда время, затрачиваемое на расчёты по традиционной модели, слишком велико.

Нейросетевые методы и технологии предоставляют развитые возможности обобщения и моделирования процессов в сложных технических системах за счет хороших аппроксимационных свойств и обеспечения оперативной адаптации к изменяющимся условиям функционирования [2]. Включение

созданных и настроенных нейросетевых моделей отдельных узлов и подсистем в контуры работы и управления центробежными компрессорами позволяет решить задачи определения оптимальных рабочих режимов и выбора наилучших проектных решений.

Для моделирования, в том числе на основе нейронных сетей, сбор, выбор данных для обучения и их обработка являются одними из самых сложных этапов решения задачи.

Обучение сети на предварительно не обработанном наборе данных зачастую не дает достоверных результатов. Одним из способов улучшить обучение сети за счет работы с исходными данными является нормировка данных. В случае, когда на разные входы сети подаются данные различной размерности, значения большего порядка (например, десятки и тысячи) будут оказывать большее влияние на выход сети. После нормировки размерности всех входных данных сводятся к одному порядку.

Для создания ИНС (искусственной нейронной сети) были отобраны данные экспериментальных испытаний 39 геометрически различных полнокомплектных промежуточных ступеней и сформирована выборка из 567 векторов значений. Проверка влияния нормировки проведена при сравнении созданной ранее нейронной сети, обученной на ненормированных данных, и новой нейросети, обученной уже на нормированных данных.

На некоторые входы подавались значения параметров (число лопаток рабочего колеса и обратно направляющего аппарата, углы входа и выхода лопаток рабочего колеса, углы выхода лопаток обратно направляющего аппарата), по модулю находящиеся в диапазоне от 0 до 100. Остальные 27 параметров меняли свои значения в диапазоне от 0 до 1. После нормировки на все входы сети подаются значения от нуля до единицы.

Сравним результаты моделирования значения КПД на нормированной и ненормированной выборке. Обе модели представляли собой двухслойную нейронную сеть, реализующую зависимость вида $f(\Phi, M_u, G)$, где Φ – условного коэффициента расхода, M_u – числа Маха и G – совокупности параметров, описывающих геометрию проточной части.

Программная реализация моделирования энергетических характеристик компрессора с помощью ИНС и описанные выше результаты были получены с использованием системы MATLAB и ее инструментального пакета Neural Network Toolbox.

Средняя ошибка по всем 567 входным векторам ненормированной обучающей выборки расчётных значений политропного КПД $\eta = f(\Phi, M_u, G)$ составила 3,6%. Если не учитывать крайние по расходу точки, то среднее отклонение расчётных значений КПД составляет 2,15%.

Для нормированных данных средняя ошибка по всем 567 входным векторам обучающей выборки расчётных значений политропного КПД $\eta = f(\Phi, M_u, G)$ составила 2,8%. Если не учитывать точки с максимальными значениями расхода, то среднее отклонение расчётных значений КПД от экспериментальных составляет 1,2%.

Сравнение графиков моделируемых параметров представлено на двух (рисунок 1. а) – одна ступень, б) – вторая ступень) различных ступенях центробежного компрессора.

Погрешности этих моделей получают наибольшие значения в крайних точках области расходов, где имеют место срывные зоны, помпаж компрессора и другие нестационарные процессы, эти области не используются при эксплуатации оборудования. В рабочей области компрессора модели на основе нейронных сетей аппроксимируют введенные данные с высокой точностью, погрешность соответствует погрешности экспериментальных данных [3]. Можно отметить, что при нормировании данных нейронная сеть точнее отслеживает форму зависимости и данные испытаний при минимальных расходах.

Разработаны нейросетевые модели для расчета энергетических характеристик промежуточной ступени центробежного компрессора, которые позволяют проектировать высокоэффективные проточные части центробежных компрессоров, не прибегая к длительным и дорогостоящим физическим экспериментам или значительно снизив их количество. Показано влияние нормирования данных на результаты моделирования.

Данные модели рассматриваются как вспомогательные системы, которые способствуют принятию решений, но сами окончательными решениями не являются. Они помогают подробнее рассмотреть плюсы и минусы конструкций и условий работы, связанные с реальным объектом, и позволяют проверить реальные зависимости при оптимизации конструкторских решений.

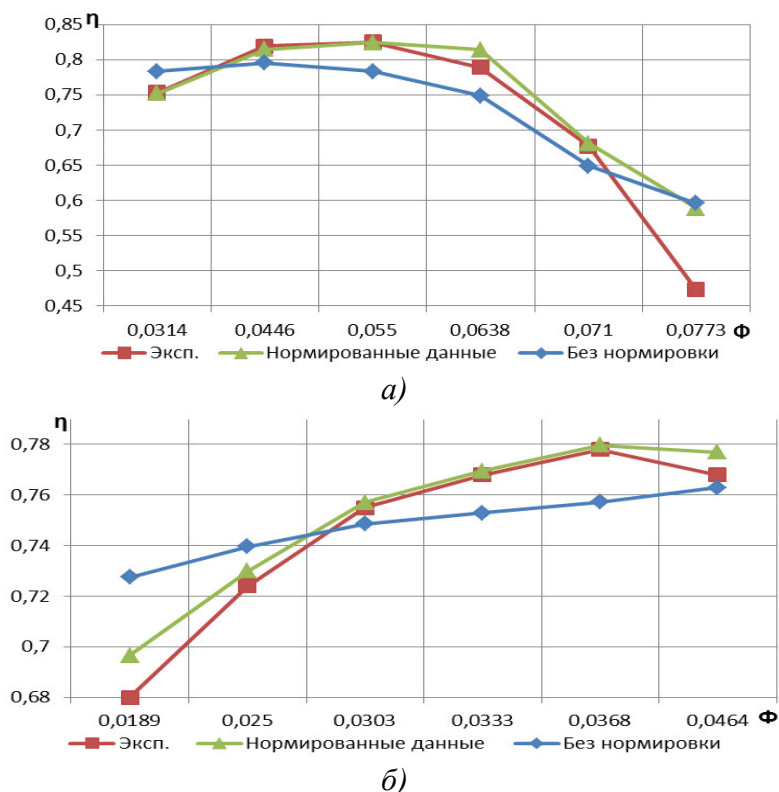


Рисунок 1 – Зависимость КПД от условного коэффициента расхода: а) Ступень 2004, $D_2 = 0,352$, б) Ступень 3022, $D_2 = 0,419$

Это позволяет предположить перспективность данного метода для определения технических характеристик при конструировании элементов центробежных компрессоров.

Литература

1. Хисамеев И.Г., Гузельбаев Я.З. Защита центробежных компрессоров от опасных (помпажных) режимов работы. // Промышленная и экологическая безопасность. 2010. №8 (46).
2. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
3. Никифоров А.Г., Попова Д.Ю., Солдатова К.В. Нейросетевые модели политропного КПД и коэффициента напора промежуточной ступени центробежного компрессора. // Компрессорная техника и пневматика. 2015. № 6.

Н.П. Прокуденков, к.т.н., доц.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СО СЛУЧАЙНЫМ КВАНТОВАНИЕМ

Вследствие широкого распространения на практике импульсных систем со случайным квантованием, внимание к ним непрерывно возрастает. Такие системы находят применение в информационно-измерительной технике, технике связи, однако наиболее характерна нерегулярность (случайность) квантования в цифровых системах регулирования, при работе их в режиме синхронной временной диаграммы с прерываниями [1].

Целью данной работы является разработка общего подхода к анализу устойчивости таких систем.

Наиболее типичным примером в этом классе является система управления с цифровым регулятором, содержащая: импульсный элемент – ключ Кл, цифровой регулятор, состоящий из цифрового фильтра и фиксатора нулевого порядка Φ_0 и непрерывный объект, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Обычно анализ таких систем производится при регулярном квантовании T_n , но во многих источниках, в частности [2, 3], отмечается неизбежность нерегулярности (случайности) интервалов T_n .

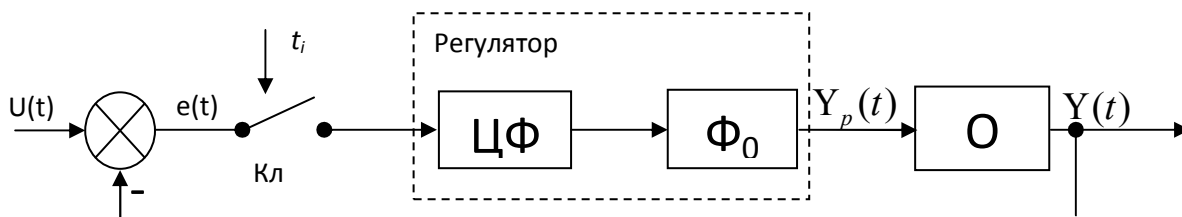


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой цифровой системы управления

В дальнейшем будем полагать, что моменты квантования $\{t_n\}$ являются случайными величинами и образуют случайный поток событий типа простого процесса восстановления.

Для случая, когда объект управления является линейным и стационарным, его математическое описание имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\vec{x}}_0(t) = A_0 \cdot \vec{x}_0(t) + \vec{b}_0 \cdot y_p(t), \\ y(t) = \vec{C}_0^T \cdot \vec{x}_0(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $\vec{x}_0(t)$ – n_0 -мерный вектор переменных состояния объекта регулирования, $y(t)$ – выходной сигнал системы, $y_p(t)$ – выходной сигнал регулятора.

Цифровой фильтр, отображающий алгоритм работы ЦВМ, будет иметь математическое описание для дискретных моментов t_n вида:

$$\begin{cases} \vec{x}_p(t_n) = A_p \cdot \vec{x}_p(t_{n-1}) + \vec{b}_p \cdot e(t_{n-1}), \\ y_p(t_n) = \vec{C}_p^T \cdot \vec{x}_p(t_n), \end{cases} \quad (2)$$

где $\vec{x}_p(t_n)$ – n_p -мерный вектор переменных состояния цифрового фильтра в момент времени t_n , $e(t_n)$ – значение сигнала рассогласования в моменты t_n .

Используя (1) и учитывая кусочно-постоянный характер функции $y_p(t)$, для произвольного n -го интервала $T_n = t_n - t_{n-1}$ можно записать соотношения в виде разностных уравнений:

$$\begin{cases} \vec{x}_0(t_n) = e^{A_0 T_n} \cdot \vec{x}_0(t_{n-1}) + (e^{A_0 T_n} - I) A_0^{-1} \vec{b}_0 y_p(t_{n-1}), \\ y_0(t_n) = \vec{C}_0^T \cdot \vec{x}_0(t_n), \end{cases} \quad (3)$$

где $e^{A_0 T_n}$ – матричная экспонента, I – единичная матрица.

Объединяя (1), (2), получим соотношение для замкнутой системы, отражающее связь между переменными состояния в моменты времени t_n .

$$\begin{cases} \vec{x}(t_n) = A(T_n) \cdot \vec{x}(t_{n-1}) + \vec{b} \cdot u(t_{n-1}), \\ y(t_n) = \vec{C}^T \cdot \vec{x}(t_n), \end{cases} \quad (4)$$

где

$$A(T_n) = \begin{bmatrix} e^{A_0 T_n} & (e^{A_0 T_n} - I) A_0^{-1} \vec{b}_0 \vec{C}_p^T \\ -\vec{b}_p \vec{C}_0^T & A_p \end{bmatrix},$$

Для произвольного момента времени t между двумя соседними замыканиями ключа Кл $t_n < t < t_{n+1}$, используя тот же подход, можно записать

$$\begin{cases} \vec{x}_0(t) = e^{A_0(t-t_n)} \cdot \vec{x}_0(t_n) + [e^{A_0(t-t_n)} - I] A_0^{-1} \vec{b}_0 \vec{C}_p^T \vec{x}_p(t_n), \\ y(t) = \vec{C}_0^T \cdot \vec{x}_0(t), \end{cases} \quad (5)$$

откуда после некоторых преобразований следует

$$y(t) = \vec{d}^T(t - t_n) \cdot \vec{x}(t_n), \quad (6)$$

где

$$\vec{d}^T(t - t_n) = \vec{C}_0^T \left[e^{A_0(t-t_n)} (e^{A_0(t-t_n)} - I) A_0^{-1} \vec{b}_0 \vec{C}_p^T \right].$$

Объединяя выражения (4) и (6) получим описание замкнутой системы для произвольных моментов времени t_i :

$$\begin{cases} \vec{x}(t_n) = A(T_n) \cdot \vec{x}(t_{n-1}) + \vec{b} \cdot u(t_{n-1}), \\ y(t) = \vec{d}^T (t - t_n) \cdot \vec{x}(t_n). \end{cases} \quad (7)$$

В силу случайности интервалов квантования, выходной сигнал системы $y(t)$ будет представлять случайный процесс и об устойчивости системы можно говорить только в вероятностном смысле.

Определение.

Дискретную систему со случайным интервалом квантования, описываемую системой уравнений (7) будем называть устойчивой по математическому ожиданию, если при произвольном начальном условии $\vec{x}(0) \neq 0$, и нулевом входном сигнале:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E\{\vec{x}(t_n)\} = 0, \quad (8)$$

где E – символ математического ожидания.

Подставляя в полученное выражение (8) значения параметров системы из (7) при $\vec{x}(0) \neq 0, u(t) \equiv 0$, будем иметь:

$$E\{\vec{x}(t_n)\} = [\overline{A(T)}]^n \cdot \vec{x}(0), \quad (9)$$

где

$$\overline{A(T)} = E\{A(T_n)\}.$$

Как известно, итерационный процесс (9) сходится к нулю, если максимальное собственное число $\mu_{\max}$ матрицы $\overline{A(T)}$ по модулю меньше единицы, то есть

$$|\mu_{\max}| < 1. \quad (10)$$

Последнее неравенство является условием устойчивости рассматриваемых систем по математическому ожиданию.

Пример 1.

Пусть структура замкнутой цифровой системы имеет вид, приведенный на рисунке 1, при этом цифровой фильтр обеспечивает алгоритм П-регулирования, а объект представляет собой инерционное звено первого порядка и имеет передаточную функцию:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{1 + pT_o},$$

и соответственно описывается уравнением вида:

$$y(t) = -\alpha \cdot y(t) + K_o \cdot \alpha \cdot y_p(t),$$

где $\alpha = 1/T_o$.

В данном случае рассматриваемая система является системой первого порядка с матрицей объекта $A_o = -\alpha$ – скаляром, поэтому выберем в качестве переменной состояния системы выходную переменную объекта и, используя (7), получим базовую модель:

$$\begin{cases} x(t_n) = [(1 + K_o) \cdot e^{-\alpha T_n}] \cdot x(t_{n-1}) + K_o(1 - e^{-\alpha T_n}) \cdot u(t_{n-1}), \\ y(t_n) = x(t_n). \end{cases}$$

Матрица $A(T_n)$ в данном случае скаляр:

$$A(T_n) = (1 + K_o)e^{-\alpha T_n} - K_o.$$

Пусть поток замыкания является пуассоновским, то есть $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$, тогда:

$$\overline{A(T)} = (1 + K_o) \frac{\lambda}{\lambda + \alpha} - K_o,$$

и условие устойчивости замкнутой системы сводится к неравенству:

$$\left| (1 + K_o) \frac{\lambda}{\lambda + \alpha} - K_o \right| < 1,$$

откуда следует

$$K_o < K_{опр} = 1 + 2\lambda \cdot T_o.$$

Отметим, что при регулярном квантовании, то есть $T_n = \bar{T} = const$, условие устойчивости будет иметь вид:

$$K_o < K_{опр} = \frac{1 + e^{-\bar{T}/T_o}}{1 - e^{-\bar{T}/T_o}}.$$

Пример 2.

Пусть структура та же, что и в предыдущем примере, но объект представляет собой интегратор, то есть имеет передаточную функцию:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{p}.$$

Система уравнений (7) для рассматриваемого случая будет иметь вид:

$$\begin{cases} x(t_n) = (1 - K_o T_n) \cdot x(t_{n-1}) + K_o T_n \cdot u(t_{n-1}), \\ y(t_n) = x(t_n), \end{cases}$$

при этом матрица $\overline{A(T_n)}$ так же скаляр:

$$\overline{A(T)} = 1 - K_o \bar{T},$$

где $\bar{T} = E\{T_n\}$

Условие устойчивости замкнутой системы, не зависимо от закона распределения $f(t)$, будет определяется неравенством:

$$|1 - K_o \bar{T}| < 1,$$

или

$$K_o < K_{опр} = \frac{2}{\bar{T}},$$

которое совпадает с условием устойчивости импульсных систем с постоянным интервалом квантования ($T_n = \bar{T} = const$).

Таким образом, полученные соотношения позволяют оценить устойчивость импульсных систем со случайным интервалом квантования по

математическому ожиданию и охватывают дискретные системы с регулярным квантованием как частный случай.

Литература

1. Витих, В.А. Оптимизация бортовых систем сбора и обработки данных/В.А. Витих, В.А. Цыбаков. – М.: Наука, 1985. – 176 с.
2. Горелов, Г.В. Нерегулярная дискретизация сигналов/Г.В. Горелов. – М.: Радио и связь, 1982. – 256 с.
3. Dragan V., Morozan T., Stoica A-M. Mathematical Methods in Robust Control of Discrete-Time Linear Stochastic Systems// V. Dragan, T. Morozan, A-M. Stoica. – New York.: SpringerNew York, 2010. – 346 p.

*Н.П. Прокуденков, к.т.н., доц.; В.В. Маныкин, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Для управления динамическими объектами существует множество различных методов, как классические (цифровые, робастные, ПИД регуляторы), так относительно новые, в частности интеллектуальные методы. Главная причина развития интеллектуальных технологий заключается в том, что традиционные методы не могут обеспечить повышение качества управления вследствие того, что не учитывают ряд возмущающих факторов, воздействующих на объект управления в процессе эксплуатации и сложности в математическом описании законов управления.

Основными интеллектуальными методами искусственного интеллекта являются:

- 1) Экспертные системы
- 2) Нечёткая логика
- 3) Ассоциативная память
- 4) Искусственные нейронные сети

Рассмотрим главные характеристики, преимущества и недостатки данных методов.

Экспертные системы (ЭС) обычно выступают в роли советчика оператора, выполняющего функции взаимодействия с внешним миром. Наиболее часто ЭС используется в регуляторах с обратной связью и с известным законом управления. На рисунке 1 представлена схема управление динамическим объектом на основе ЭС[1].

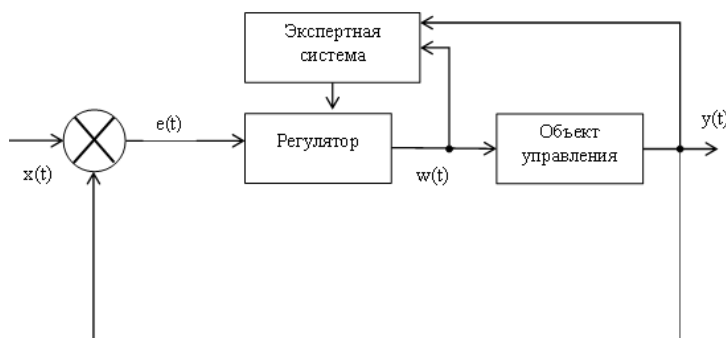


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема экспертной системы управления

Структурные элементы ЭС должны выполнять следующие функции:

- представление знаний по конкретному объекту управления;
- представление знаний в предметной области и управление ими;
- осуществление логического вывода на основании знаний, имеющихся в базе знаний (механизм логического вывода);
- получение знаний от эксперта, поддержка базы знаний и дополнение ее при необходимости (модуль приобретения знаний);
- вывод заключений, представление различных комментариев, прилагаемых к этим заключениям, и объяснение их мотивов.

К достоинствам экспертных систем относят возможность накапливать знания, сохранять и обновлять их длительное время, и устойчивость к различным помехам, что позволяет создавать более точные системы.

К недостаткам таких систем следует отнести низкое быстродействие, так как в ЭС вопросно-ответный режим замедляет получение решений. Так же при изменениях системы нужно добавлять новые или изменять старые правила, заложенные в базу знаний, для чего требуется дополнительное время и средства.

Управление на основе нечеткой логики может успешно применяться в системах с неполной информацией, при нелинейных, изменяющихся во времени параметрах объекта. В динамических системах наиболее часто используют нечеткий ПИ-регулятор. Его структурная схема продемонстрирована на рисунке 2 [1, 2].

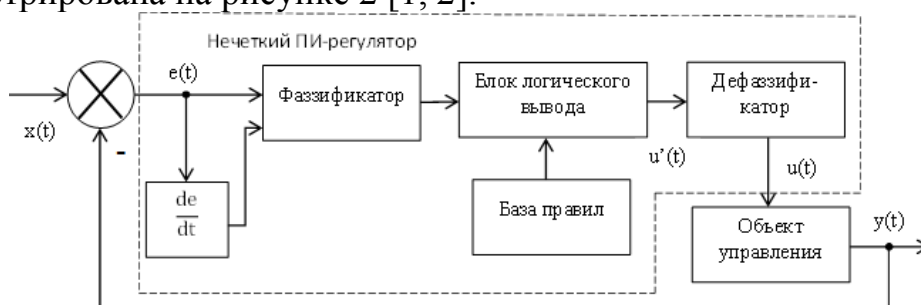


Рисунок 2 – Структура нечеткого ПИ-регулятора

На вход регулятора поступает ошибка e и вычисляется ее производная по времени $\frac{de}{dt}$. Далее обе величины сначала подвергаются операции фаззификации, затем полученные нечеткие переменные используются в блоке нечеткого логического вывода для получения управляющего воздействия на объект, которое выполняет операцию дефаззификации.

Главным преимуществом нечеткой логики является нечувствительность нечетких регуляторов к изменению коэффициента усиления разомкнутого контура. Это позволяет проектировать системы с высокими техническими характеристиками при пониженных требованиях к источникам питания. Ещё к преимуществам можно отнести инвариантность нечетких регуляторов к изменению внешних неконтролируемых статических и гармонических возмущений.

Основными недостатком данного подхода является то, довольно часто модель объекта управления представлена в виде соотношений качественного характера между входными и выходными значениями, и привести их в аналитический вид достаточно трудно. Так же для обеспечения требуемого качества функционирования и компактности создаваемых моделей нечеткого управления необходима предварительная настройка.

Технология ассоциативной памяти, которая получила весьма широкое распространение в вычислительной технике, и является на сегодняшний день одним из подходов к созданию быстродействующих интеллектуальных систем управления. Наиболее часто их используют в условиях неопределенности – параметры системы и окружающего мира меняются непредсказуемо.

Известны два принципиальных подхода к построению таких систем[1]. Первый подход иллюстрируется на рисунке 3.

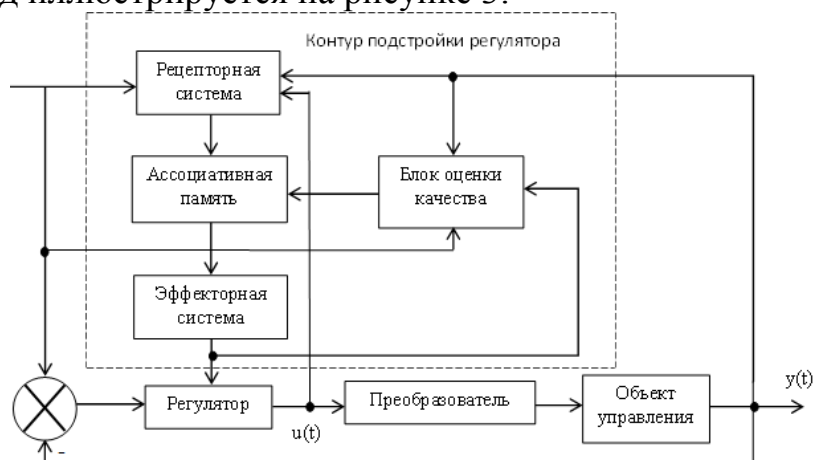


Рисунок 3 – Функциональная схема системы управления с контуром подстройки регулятора на базе ассоциативной памяти

На вход рецепторной системы поступает вектор состояния объекта $x(t)$, содержащий информацию, соответствующую сигналу обратной связи, входному задающему воздействию и выходному сигналу регулятора. На выходе эффекторной системы формируется вектор, содержащий параметры регулятора.

Учет внешних возмущений происходит на этапе идентификации АП, в которой возмущения определяются как динамические характеристики объекта управления. Наличие блока оценки качества управления позволяет реализовать самообучение АП. Кроме того, он формирует сигнал разрешения записи в АП.

Второй подход к построению систем управления продемонстрирован на рисунке 4.

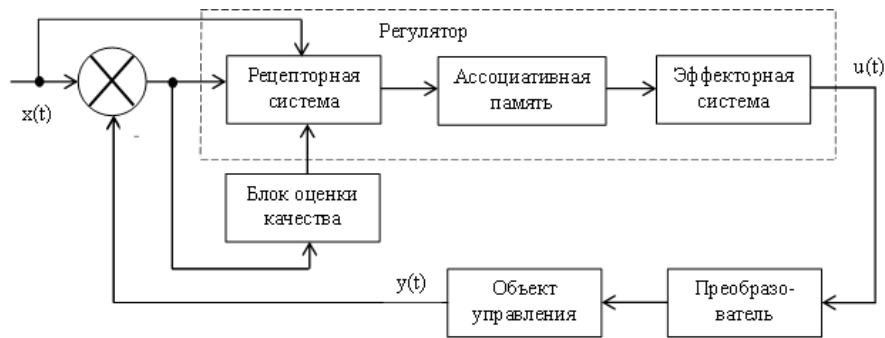


Рисунок 4 – Система управления с регулятором на базе ассоциативной памяти

Здесь АП, рецепторная и эффекторная системы помещаются непосредственно в контур управления в качестве регулятора. На входе рецепторной системы поступают сигналы от блока оценки качества и вектор ошибки рассогласования между входным воздействием $x'(t)$ и сигналом обратной связи $x(t)$. Этот же вектор ошибки поступает и на вход блока оценки качества.

В такой системе формирование знаний на этапе обучения осуществляется оператором. АП записывает набор входных векторов сигналов от датчиков. По этому вектору АП формируется управляющее воздействие на объект. Задача качественного управления сводится к обучению на наиболее полный набор возможных состояний объекта управления. Выполнение критерия качества является разрешением для записи информации в АП при обучении.

Главным преимуществом АП являются простота как программной, так и аппаратной реализации, которая обеспечивает высокое быстродействие. Так же управление может осуществляться в одном контуре сразу по нескольким параметрам.

К недостаткам можно отнести проблемы, связанные с формированием знаний, содержание которых, с одной стороны, должны соответствовать наименьшему объему занимаемой памяти, а с другой – обеспечивать заданные показатели качества управления.

Для обеспечения различных требований, таких как надежность функционирования, точность характеристик, высоких показателей качества, лучше всего для обеспечения данных требований подходят нейронные сети.

Наиболее распространенной моделью является многослойная нейронная сеть прямого распространения (МНСПР). Структурная схема [1] представлена на рисунке 5.

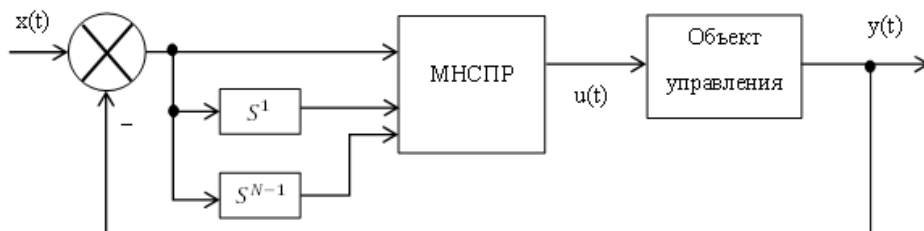


Рисунок 5 – Структурная схема системы управления МНСПР

Здесь, $g(t)$ – задающее воздействие, $u(t)$ – сигнал управления, $y(t)$ – выходной сигнал, $e(t)$ – ошибка управления, $m(t)$ – внешнее возмущение, s^n – функция дифференцирования n -й степени.

МНСПР включается в прямую цепь управления в качестве регулятора, на вход которой подается сигнал ошибки и его производные (количество производных определяется порядком дифференциального уравнения объекта). МНСПР осуществляет управление с максимальным или минимальным возможным значением сигнала управления. МНСПР, используемую в качестве регулятора, называют нейросетевым регулятором (НСР).

Ключевой задачей при проектировании НСР является настройка его параметров, т.е. подготовка обучающей выборки, а для формирования обучающей выборки используются алгоритмы синтеза законов оптимального управления для линейных и нелинейных систем.

Важными преимуществами нейронных сетей является возможность создания оптимальных систем с НСР, обеспечивающие высокое качество управления при изменении параметров системы. Стоит отметить, что обученная нейронная сеть ведет себя так же, как и эксперт, причем при тех входных воздействиях, которые не были включены в набор сигналов, использованных при обучении.

К недостаткам можно отнести выбор нейронной сети и ее структуры. Чем проще окажется структура нейросетевого регулятора, тем легче аппаратная реализация. Так же есть сложность подготовки обучающей выборки, так как в большинстве случаев для настройки параметров нейронной сети требуется данные без учета различных помех.

Выводы

У каждой из вышерассмотренных интеллектуальных систем управления есть свои сильные и слабые стороны, а выбор того или иного метода – отдельная задача, которая зависит от конкретных целей, которые необходимо решить в процессе управления, и возможностей применяемой интеллектуальной концепции. Если модель объекта управления достаточно простая и имеет аналитический вид, то логичнее использовать экспертные системы; если система работает в условиях неполной информации об объекте, то наиболее эффективное управление достигается при использовании нечетких систем; если система работает в динамически изменяющихся условиях и при этом требуется обеспечить высокое быстродействие, то применяют методы ассоциативной памяти, если, при этом, требуется обеспечить более высокую точность характеристик системы – используют нейронные сети.

Литература

1. Макаров, И.М. Интеллектуальные системы автоматического управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин. – М. ФИЗМАЛИТ, 2001. – 576.
2. Нечеткая логика, нейронные сети и генетические алгоритмы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_7.aspx (дата обращения 30.09.2016)

*Н.Ю. Прохорова, студ.; Р.И. Баженов, к.п.н., доц.
(ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема,
г.Биробиджан)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ POMWIN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ «ЗЛОУМЫШЛЕННИК – АДМИНИСТРАТОР»

Защита информации является глобальной проблемой современного информационного общества. Применение теории игр к задачам по информационной безопасности позволяет просчитать возможные стратегии поведения. Актуальность данной работы заключается в том, что теория игр по существу представляет собой не что иное, как математическую теорию конфликтных ситуаций. Мы считаем, что разработать оптимальное решение в условиях неопределенности - наиболее сложная задача для лица, принимающего решение. Цель теории игр - выработка рекомендаций для различного поведения игроков в конфликтной ситуации, т.е. выбор оптимальной стратегии для каждого из них.

Задачей исследования является определение оптимальной стратегии в системе «POMWIN» в случаях, когда априорная информация о частоте появления конкретных типов угроз в компьютерной системе недоступна.

Систематическая математическая теория игр была детально разработана Дж.Фон Нейманом и О.Моргенштерном как средство математического подхода к явлениям конкурентной экономики [1]. В своем исследовании Г.В.Коршунова и Л.Е. Романова [2] обосновали необходимость применения теории игр к анализу взаимодействий субъектов рынка и рассмотрели анализ взаимодействий хозяйствующих субъектов на основе различных видов равновесий, предлагаемых теорией игр. А.А.Воробьев и др. [3] на основе теории игр разработали комплекс методов, позволяющих получить количественные оценки эффективности способов реализации угроз несанкционированного доступа к информации и эффективности используемой системы защиты информации. Для решения необходимости выбора единой стратегии деятельности предприятий исходя из возможных сценариев развития внешней среды С.Н.Валиахметовым и Е.Л. Богдановой [4] было предложено использовать методы математического моделирования, а в частности - элементы теории игр. В своей статье П.Н.Афонин и С.Н. Гамидуллаев [5] рассмотрели вопросы применимости теории игр в таможенных процессах, возможности реализации данной теории на этапе выбора формы таможенного контроля, использования различных мер по минимизации рисков, а также практической значимости при выборе форм таможенного контроля. Н.О.Морозова [6] на основе теории игр разработала модель, в которой рассматриваются различные стратегии поведения государства и населения при введении государственного регулирования цен. А.Ж.Абденов и Р.Н.Заркумова [7] представили методику применения критериев Вальда и Гурвица при выборе средства эффективной защиты от DoS/DDoS-атак и вывели условие

эффективной защиты. М. Manshaei и др. рассмотрели теорию игр к организации сетевой безопасности [8]. Применение теории игр к информационной безопасности показали J. Grossklags и др. [9].

В качестве примера рассмотрим матричную игру «злоумышленник – администратор», в которой необходимо определить оптимальную стратегию в случаях, когда априорная информация о частоте появления конкретных типов угроз недоступна [10].

Рассмотрим решение задачи. Предположим, что записи в игровой матрице представляют вероятности эффективности использования администратором компьютерной системы трех стратегий (строки x_1, x_2, x_3) против пяти угроз (колонки Y_A, Y_B, Y_C, Y_D, Y_E). В табл. 1 указаны данные в качестве примера, для рассмотрения игры.

Таблица 1- Платежная матрица

	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E
x_1	0,3	0,6	0,4	0,5	0
x_2	1	0	0	0	0
x_3	1	0,5	0	0	1

Необходимо запустить программу POMWIN и указать метод, который будет выполняться, в нашем случае это будет теория игр (рис. 1).

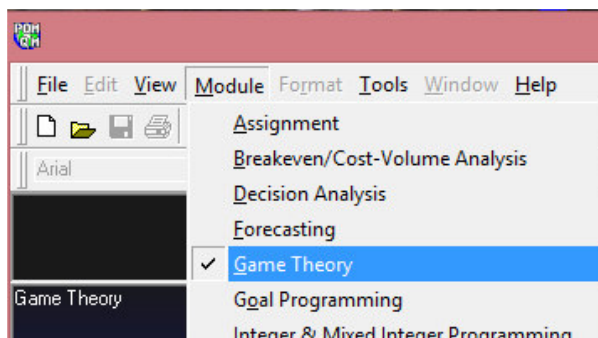
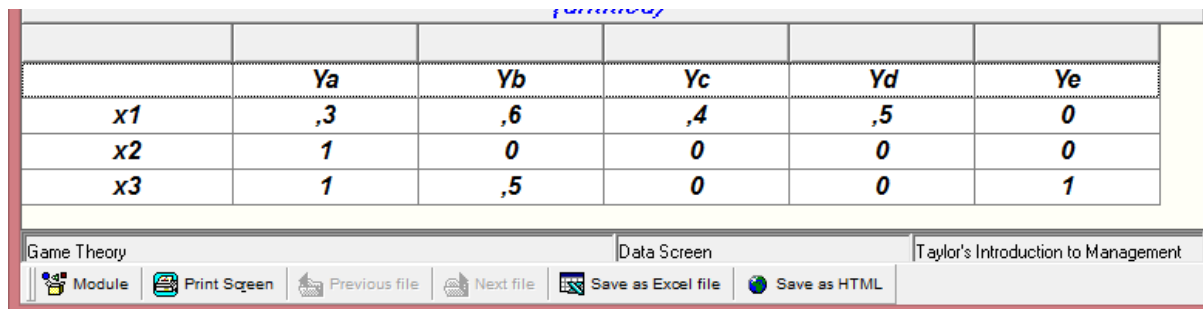


Рисунок 1 – Запуск программы по данному методу

Далее создаем новый проект и заполняем таблицу исходной информацией, необходимой для решения матричной игры (рис. 4) и нажимаем Solve для решения игровой задачи.

Рассмотрев результаты моделирования, можно сказать, что оптимальная стратегия противостояния пяти угрозам состоит в использовании стратегии x_1 в течении 0,71 времени работы ресурса и стратегии x_3 в течении 0,29 времени.

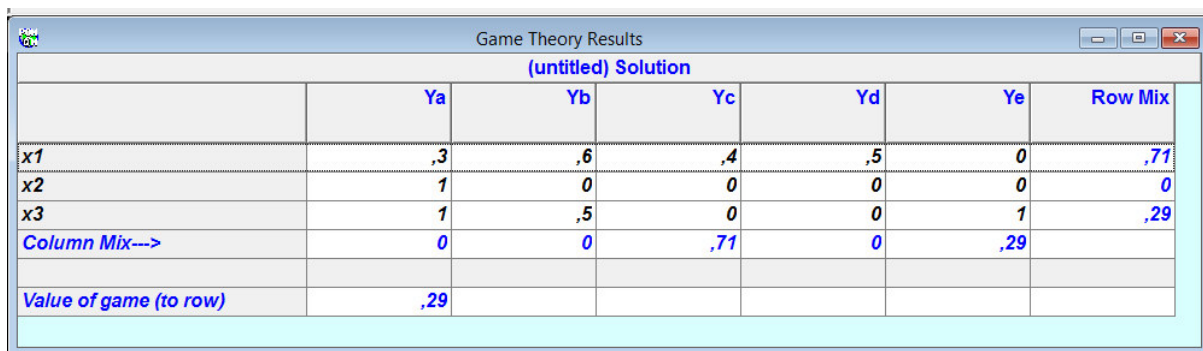
В результате исследования была рассмотрена одна из основных возможностей программы POMWIN – решение задач по теории игр. В качестве примера была решена задача «злоумышленник – администратор».



	Ya	Yb	Yc	Yd	Ye
x1	.3	.6	.4	.5	0
x2	1	0	0	0	0
x3	1	.5	0	0	1

Рисунок 2 – Заполненная таблица

Выполнив расчеты, получаем следующие результаты (рис. 3).



	Ya	Yb	Yc	Yd	Ye	Row Mix
x1	.3	.6	.4	.5	0	.71
x2	1	0	0	0	0	0
x3	1	.5	0	0	1	.29
Column Mix-->	0	0	.71	0	.29	
Value of game (to row)	.29					

Рисунок 3 – Оптимальные стратегии защиты противостояния

Литература

1. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.:Наука, 1970. 708с.
2. Коршунова Г.В., Романова Л.Е. Использование теории игр при анализе взаимодействий субъектов рынка // Экономический анализ: теория и практика. 2006. № 9. С. 48-52.
3. Воробьев А.А., Куликов Г.В., Непомнящих А.В. Оценивание защищенности автоматизированных систем на основе методов теории игр // Информационные технологии. 2007. № S1. С. 1-24.
4. Валиахметов С.Н., Богданова Е.Л. Применение теории игр для выбора стратегии развития аграрных предприятий // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2009. № 16. С. 120-125.
5. Афонин П.Н., Гамидуллаев С.Н. Теория игр в управлении таможенными рисками при выборе форм таможенного контроля // Вестник Российской таможенной академии. 2009. № 1. С. 23-33.
6. Морозова Н.О. Применение теории игр для объяснения причин ухода в теневую экономику // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2009. № 1 (71). С. 327-332.
7. Абденов А.Ж., Заркумова Р.Н. Выбор средства эффективной защиты с помощью методов теории игр // Вопросы защиты информации. 2010. № 2. С. 26-31.
8. Manshaei M. H. et al. Game theory meets network security and privacy //ACM Computing Surveys (CSUR). 2013. Т. 45. №. 3. С. 25.
9. Grossklags J., Christin N., Chuang J. Secure or insure?: a game-theoretic analysis of information security games //Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web. ACM, 2008. С. 209-218.
10. Гуц А. К., Вахний Т.В. Теория игр и защита компьютерных систем: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГУ, 2013. 160с.

ВОЗМОЖНОСТЬ УМЕНЬШЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОДА ПРИ СОХРАНЕНИИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРАВИЛЬНОГО ПРИЁМА

Вероятность искажения в линии связи одного символа двоичного кода зависит от соотношения мощностей сигнал/шум (С/Ш) $\lambda = P_c / P_{ш}$, где P_c – мощность сигнала и $P_{ш}$ мощность шума в канале связи. С ростом λ эта вероятность уменьшается. Применение кодов, исправляющих ошибки, позволяет уменьшить вероятность ошибочного приёма переданной кодовой комбинации. Эти зависимости не имеют экстремума, поэтому какое-либо обоснование выбора корректирующей способности применяемого кода представляется актуальным. В данной статье обосновываются возможность при выборе кода использовать укороченные коды с меньшей корректирующей способностью.

Рассматриваются только блочные коды. В качестве импульсных признаков при передаче двоичных символов «0» и «1» используются такие, которые обеспечивают максимальное различие по мощности между сигналами нуля и единицы. На передачу одной кодовой комбинации отводится фиксированный динамический диапазон по времени T и по амплитуде напряжения U . Один из оптимальных вариантов передачи состоит в передаче «1» видеопульсом постоянного тока, а сигнал «0» – отсутствием импульса на данной позиции кода. Пауза между символами кода «0» и «1» отсутствует. Приём символов кода осуществляется согласованным фильтром, что гарантирует минимально возможную вероятность P_1 ошибочного приёма одного (любого) символа кода. Обычно вероятность P_1 искажения символа обеспечивается равной 10^{-3} , 10^{-4} .

Определить наличие определённых ошибок в принятой кодовой комбинации возможно в случае использования кодов, исправляющих ошибки. То есть, если для передачи информации достаточно использовать только k символов избыточного кода, то в корректирующем коде они дополняются m символами, что увеличивает длину кода с k до $n = k+m$ символов, и уменьшает скорость кодирования $r = k / n$. При заданных ограничениях на динамический диапазон увеличение длины кода уменьшает мощность импульса кода и, следовательно, уменьшает отношение С/Ш, и увеличивает вероятность P_1 искажения символа кода. Для N сообщений код, исправляющий ошибки заданной кратности, имеет длину $n=2^b - 1$ ($b = 3, 4, 5, 6, \dots$ – целочисленная величина). Длина кода, соответственно, оказывается равной 7, 15, 31, 63, ... Из этих кодов можно получить код меньшей длины (укороченный код), при той же корректирующей способности.

Мощность сигнала при кодировании сообщений избыточным кодом $P_c = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t) \cdot dt$. Отсюда следует, что $P_c = \frac{\tau}{T} \cdot U^2$. Здесь и далее τ – длительность одного импульса при кодировании сообщений избыточным

кодом $\tau = T / k$. Для передачи импульса двоичного кода необходима полоса частот канала связи равная $\Delta f = 1/\tau$. Полагая, что помеха имеет нормальный закон распределения со спектральной мощностью N_0 , её мощность в полосе частот Δf составит $P_{ш} = N_0 \cdot \Delta f$. Отношение С/Ш избыточного кода составит $\lambda_{НК} = \frac{U^2}{\tau \cdot (\Delta f)^2 \cdot N_0}$. Длительность одного импульса корректирующего кода определяется как $\tau_{кор} = \tau \cdot r$. Отношение С/Ш корректирующего кода составит $\lambda_{КК} = \frac{U^2}{\tau \cdot (\Delta f)^2 \cdot N_0} \cdot r^2$. Видим, что $\lambda_{КК} = \lambda_{НК} \cdot r^2$, то есть в r^2 раз меньше. С уменьшением скорости кода увеличивается число ошибок в принятой кодовой комбинации, что может компенсироваться применением кодов с большой кратностью исправляемых ошибок. Этот эффект достигается лишь при больших значениях отношения С/Ш избыточного кода. Реально величина λ лежит в пределах 3-6 единиц. Уменьшение его в r^2 оказывается существенным и увеличивает кратность ошибок.

Вероятность P_s появления векторов ошибок кратности s определяется биномиальным законом

$$P_s = C_n^s \cdot P_1 \cdot (1 - P_1)^{n-s}.$$

При большом n вычисление по этой формуле становится неудобным, и биномиальный закон распределения вероятностей появления s ошибок в кодовой последовательности длиной n символов заменяют законом распределения Пуассона $P_s = \frac{u^s}{s!} \cdot e^{-u}$.

Величина u принимается равной математическому ожиданию биномиального закона распределения $u = P_1 \cdot n$. У кодов большой длины (255,511) величина u оказывается большой, и это приводит к необходимости применять коды с высокой корректирующей способностью. С ростом u кривая плотности распределения уплощается и поэтому выбор значения s , начиная с которого вероятность появления ошибки считать пренебрежимо малым представляется проблематичным. Целесообразно при выборе корректирующей способности кода исходить не из вероятности возникновения неисправляемой ошибки, а из вероятности $P_{пр}$ правильного приёма сообщения. Эта вероятность вычисляется по функции распределения закона Пуассона формуле

$$P_{пр} = \sum_{i=0}^s \frac{u^i}{i!} e^{-u}.$$

В таблице 1 приведены результаты расчётов по этой формуле для некоторых значений $P_{пр}, s, u$.

Из этой таблицы видим, что незначительное изменение параметра u может приводит к изменению кратности исправляемых корректирующим кодом ошибок. Для $P_1 = 0,001$ и $n = 100$ получим $u = 0,1$. В этом случае достаточно использовать код, исправляющий одиночные (при $P_{пр} = 0,999$) или двух кратные ошибки (при $P_{пр} = 0,9999$). Если же взять $P_1 = 0,01$, то получим $u = 1$ и потребуется код, исправляющий 5,6 кратные ошибки, соответственно. Аналогичный эффект наблюдается и с увеличением длины кода.

Увеличение кратности исправляемых ошибок приводит к уменьшению скорости кодирования. Рассмотрим для примера 63 разрядный БЧХ код [1]. Для него зависимость скорости до величины 0,4 практически линейная и аппроксимируется уравнением $r = 0,99 - 0,09 \cdot s$. С уменьшением скорости уменьшается количество информационных разрядов. БЧХ код (63,36) имеет скорость кодирования 0,57. Число информационных разрядов равно 36. Такой код позволяет исправлять 5-кратные ошибки. Но эти 36 разрядов можно закодировать кодом меньшей длины, исправляющим ошибки меньшей кратности при практически той же достоверности. Это обеспечит укороченный код с 36 информационными разрядами, полученный из БЧХ кода (63,45). В этом коде число проверочных элементов равно 18. Эти же разряды останутся и в укороченном коде с 36 информационными разрядами. Разрядность кода составит 54 вместо 63. Отношение С/Ш для 54 разрядного кода по сравнению с 63-разрядным кодом будет выше в 1,2 раза. В результате уменьшится вероятность искажения одного символа кода. Величина вероятности P_1 находится из условия $P_1 = V(\lambda)$, где V – интеграл вероятности нормированного нормального распределения, λ – отношение С/Ш [2]. При λ равном 3,09 вероятность искажения одиночного символа составляет 0,001. Если же отношение С/Ш увеличить в 1,2 раза, λ составит 3,71, что обеспечивает вероятность искажения одиночного символа равной 0,0001. При практически той же вероятности правильного приёма потребуется исправлять всего трёхкратные ошибки, что существенно уменьшает время декодирования и сложность декодирующего устройства.

Таблица 1 – Зависимость кратности s исправляемых ошибок от u для двух заданных значениях $P_{\text{пр}}$.

u	00.1	00.2	00.4	00.6	00.8	1.0	2.0	3.0	4.0
$s, (P_{\text{пр}} = 0.999)$	1	2	3	3	4	5	7	9	11
$s, (P_{\text{пр}} = 0.9999)$	2	3	4	5	6	6	9	11	13

Декодирование кодовой комбинации должно осуществляться за время длительности одного импульса кода. Если это время будет больше, то это приведёт к уменьшению скорости передачи сообщений, что недопустимо. С ростом же корректирующей способности кода усложняется алгоритм декодирования и, как следствие, увеличивается сложность и стоимость устройства. Изложенный в статье подход в ряде случаев позволяет применять укороченный код с меньшей корректирующей способностью при практически одинаковой вероятности правильного приёма.

Литература

2. Р.Морелос–Сарагоса. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. - М., Техносфера 2005—313с.
1. Теория электрической связи: учебное пособие/ К.К. Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, У.Г. Нестеренко. Под общ. ред. К.К. Васильева – Ульяновск: УлГТУ, 2008 —452 с.

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА В ЗАДАЧЕ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(проект № 16-07-00491 А)

Повышение достоверности информации об управляемом процессе или объекте приводит к необходимости решения задачи снижения влияния шума измерений на результирующее управляющее воздействие. Частотные фильтры применимы для решения указанной задачи только в том случае, если спектры шума и полезного сигнала не перекрываются, в противном случае применяются методы статистической фильтрации, такие как фильтры Калмана или Винера. Из двух указанных последний оперирует частотными спектрами сигналов, что не всегда удобно при практической реализации фильтра на микроконтроллерах или других цифровых платформах. Фильтр Калмана напротив, описывает сигналы во временной области, что упрощает его реализацию, однако и здесь поджидает ряд трудностей. Одной из них является проблема получения модели контролируемого зашумленного процесса в форме дифференциального или разностного уравнения, которую в данной предметной области называют формирующим фильтром – «формирующим» модель сигнала из входного случайного процесса. Иногда такую модель удастся получить на основании известной физической модели процесса или применения процедуры факторизации частотных спектров с выделением физически реализуемой части. Если же контролируемый случайный процесс имеет произвольную непрерывную корреляционную функцию, задача определения формирующего фильтра отмеченным методом не решается. В этой связи продолжает оставаться актуальной задача поиска универсальных процедур получения формирующего фильтра, обладающих в определенной степени автоматизмом и не зависимостью от специфики предметной области, в которой описывается контролируемый процесс.

Перед рассмотрением предлагаемого алгоритма настройки модели формирующего фильтра отметим, что фильтр Калмана может быть построен как для непрерывного, так и для дискретного времени, что более предпочтительно для реализации на ЦВМ, поэтому на такое представление и будем ориентироваться в дальнейшем изложении. Для дискретного времени формирующий фильтр записывается в виде разностного уравнения:

$$X_{k+1} = F_k X_k + v_k, \quad (1)$$

где X_k – вектор состояния процесса на k -м шаге расчета,

F_k – матрица перехода между состояниями, характеризующая динамику системы;

v_k – входной векторный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей R_k .

Измерения z_k описываются уравнением:

$$z_k = H_k X_k + N_k,$$

где H_k – матрица измерений, определяющая отношение между измерениями и состоянием системы;

N_k – векторный шум измерений с нулевым математическим ожиданием и с ковариационной матрицей Q_k

Представление процесса в виде (1) позволяет формировать коррелированный случайный процесс на основе входного белого шума v_k .

При реализации дискретного алгоритма необходимо учитывать величину интервала дискретизации исходного непрерывного сигнала, что вносит дополнительные трудности в составление базы знаний для процедуры нечеткого вывода. Поэтому алгоритм предполагает на первом этапе определять значения элементов матрицы системы для непрерывного времени A , а затем перейти к дискретному аналогу матрицы A матрице F :

$$F_k = e^{-AkT}, \quad (2)$$

где T – интервал дискретизации.

Фильтр Калмана оперирует с описаниями процессов в терминах пространства состояний, поэтому структуру матрицы A можно считать известной [1]. Например, для двумерного непрерывного случая матрица системы может быть представлена в виде:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_{2,1} & -a_{2,2} \end{bmatrix}$$

и задача состоит в определении численных значений параметров $a_{1,1}$ и $a_{2,2}$.

Ранее было предложено для определения матрицы A воспользоваться методами нечеткой логики [2]. Такой подход приводит к нечеткости всего фильтра Калмана, так как матрица F , дискретный аналог матрицы A , используется при вычислении коэффициента усиления фильтра. Однако применение нечеткого вывода обеспечивает и проявление недостатков этого математического аппарата, заключающихся, в частности, в субъективизме, как разрабатываемой базы правил, так и форме задаваемых функций принадлежности переменных вывода к различным термам и количеству термов. Поэтому такую процедуру нечеткого вывода следует рассматривать как предварительный этап определения значений матрицы формирующего фильтра, а следующим этапом должна стать корректировка полученных значений параметров формирующего фильтра. Сама процедура корректировки может иметь различную реализацию, например такую, которая используется в регуляторах с подстройкой параметров [3]. Предлагаемая общая схема алгоритма параметрической настройки формирующего фильтра представлена на рисунке 1.

Алгоритм предполагает наличие известной аналитической модели (АМ) контролируемого процесса в рамках какой либо математической концепции и работает следующим образом. На вход АМ подается модель входного случайного процесса v с заданной и известной ковариацией R . Этот же сигнал подается на вход ФФ. Разность выходных сигналов ΔX аналитической модели

$X_{ам}$ и ФФ $X_{фф}$ поступает на вход блока, реализующего метод градиентной подстройки параметров (ГМПП), который формирует новое значение параметров матрицы F . Если разность сигналов ΔX не превышает заданного значения $\Delta X_{зад}$, то процесс подстройки прекращается и матрице F дается разрешение на применение в ФК. Для векторных сигналов под разностью ΔX следует понимать норму $\Delta X = ||X_{ам} - X_{фф}||$, например, евклидово расстояние.

Конкретизируя этапы алгоритма параметрической настройки формирующего фильтра можно следующим образом отразить их последовательность:

- нахождение значений элементов матрицы системы для непрерывного случая A при заданной ее структуре;
- переход от непрерывного времени к дискретному и вычисление матрицы F по (2);
- подстройка (коррекция) значений элементов матрицы F в соответствии с общей схемой алгоритма, показанной на рисунке 1.

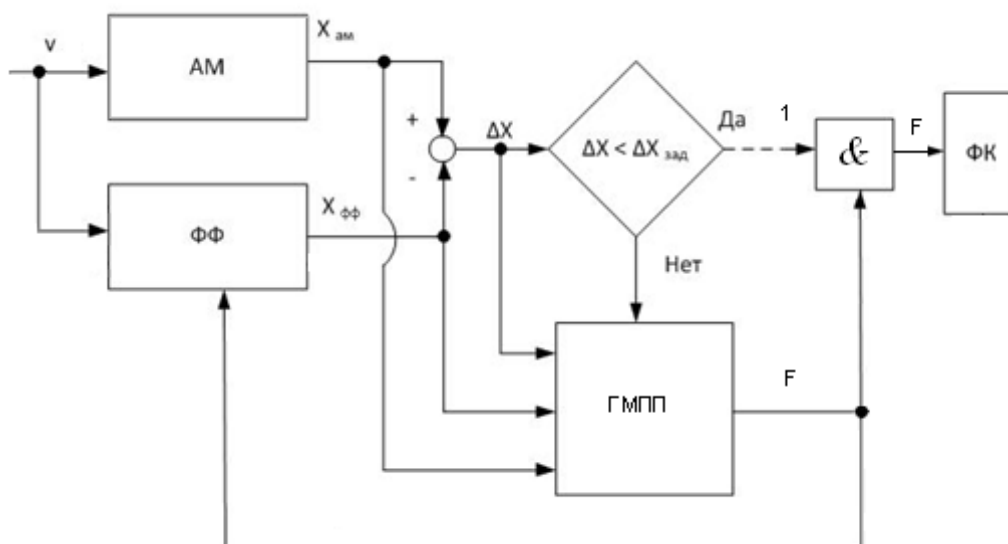


Рисунок 1 – Общая схема алгоритма параметрической настройки формирующего фильтра

Предложенный алгоритм параметрической настройки формирующего фильтра может найти применение в процедурах обработки измерительной информации в составе систем управления сложными объектами или процессами различной природы при наличии соответствующей математической модели объекта или процесса.

Литература

1. Сейдж Э. П. Уайт Ч. С. III. Оптимальное управление системами: Пер. с англ. /Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Радиоисвязь, 1982.
2. Пучков А.Ю., Панченко С.В. Селявский Ю.В. Параметрическая настройка нечеткого фильтра Калмана в системе управления электротермическим реактором./Нейрокомпьютеры: разработка, применение. Международный научно-технический журнал. № 7, 2016. С. 51 – 55.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБМАННЫХ СИСТЕМ ТИПА HONEYPOT

Honeypot (дословный перевод – горшок с мёдом) по сути, является компьютером – приманкой для атак. Он не предназначен для того чтобы напрямую увеличивать безопасность сетей, а скорее наоборот, *Honeypot* привлекает внимание злоумышленников и, соответственно, может привлечь внимание атакующего. Традиционным механизмом провокации потенциального взломщика является создание мнимого хоста – т.е. системы, имитирующей работу некоторых, потенциально интересных для взлома сервисов. Простым примером может быть установка операционной системы в стандартной конфигурации без установки критических обновлений. Такая система устанавливается на сервер, не содержащий никакой ценной информации. Базовые версии (без установленных обновлений и исправлений) операционных систем общего назначения обычно имеют значительное количество широко известных уязвимостей.

Поскольку классические методы защиты от сетевых атак основаны на предупреждении конкретного типа атаки, появление атаки принципиально нового типа делает защиту неэффективной, а всю систему – уязвимой. Технология *Honeypot* позволяет построить универсальную защиту от любых несанкционированных действий без привязки к конкретным методам взлома, что делает её особенно актуальной в настоящее время.

Honeypot также помогает предотвращать атаки, так как направляет усилия взломщиков на ложную цель и отнимает их ресурсы и время, но основное предназначение подобных систем – сбор информации для её последующего анализа.

Важной особенностью данной технологии является то, что во время нападения атакующему позволяет взаимодействовать с системой. Неправильный выбор *Honeypot* или ошибка при настройке могут создать угрозу безопасности. В данной статье предложена классификация, опираясь на которую следует выбирать тип сервера-приманки в зависимости от различных условий.

Типы Honeypot

Honeypot делятся на две категории: пассивные - анализирующие и активные - производственные.

Активные *Honeypot* предназначены для уменьшения последствий атак. Производственные *Honeypot* могут также использоваться для разоблачения и идентификации нападавшего после того, как он однажды был замечен защитными системами.

Пассивные *Honeypot* занимаются тем, что собирают ценную информацию об атаках, когда как сами по себе не являются мерами защиты для конкретной организации. Эта информация затем может быть использована для различных целей, таких как раннее предупреждение и предсказание вектора атаки.

Помимо классического деления на активные и пассивные системы, в статье предлагается классифицировать системы по уровню взаимодействия с атакующим: системы низкого, среднего и высокого взаимодействия. Взаимодействие определяет уровень активности, который система позволяет атакующему.

Системы слабого взаимодействия

Главная цель *Honeypot* слабого взаимодействия – обнаружение, в особенности, сканирований, обращений к скрытым *API* и несанкционированных попыток соединения. В силу того, что данные средства *Honeypot* предоставляют ограниченную функциональность, большинство из них представляются в виде программных средств. Программа может быть просто установлена на хост и настроена в соответствии с требованиями. Задачей администратора в данном случае является проведение мониторинга предупреждений, которые генерирует *Honeypot*, а также отслеживать изменения в имитируемом программном обеспечении.

Основное преимущество систем данного вида - простота. Они могут быть легко размещены в сети, и к тому же их поддержка так же не представляет собой большой сложности. Для функционирования этих систем требуются сервисы для эмуляции и мониторинга. Так же эмулируемые сервисы уменьшают риск, охватывая всю активность атакующего. Злоумышленник не получает доступ к операционной системе и, соответственно, не способен нанести вред.

Основным недостатком подобных систем является то, что они получают лишь ограниченный объём информации и созданы для того чтобы обнаруживать известные виды активности злоумышленников.

Системы среднего взаимодействия

Honeypot среднего взаимодействия требует несколько больших усилий при установке и настройке, чем слабого взаимодействия. Обычно данные решения не поставляются в виде готового комплекса программного обеспечения. Для того чтобы ввести в эксплуатацию подобный вид систем требуется детальная настройка функциональности по сравнению с *Honeypot* слабого взаимодействия.

Средство *Honeypot* среднего взаимодействия предоставляет злоумышленнику гораздо больше возможностей, нежели система слабого взаимодействия, но имеет меньшую функциональность по сравнению с *Honeypot* сильного взаимодействия. Данные средства могут ожидать различную активность, и спроектированы давать несколько возможных ответов на действия злоумышленника.

Например, если имитируется *Web Server*, то система может быть сконфигурирована с различной функциональностью и поведением, чтобы обнаруживать определенный сетевой вирус. Данный уровень взаимодействия уже выше, нежели у *Honeypot* слабого взаимодействия, где присутствует только пассивные элементы (например, *HTTP*-баннеры).

Обманные системы среднего взаимодействия более сложны и увеличивают степень риска, но при этом они способны получить гораздо больше информации. В отличие от обычного сканирования портов, существует возможность протоколирования активности сетевых вирусов и действий злоумышленников, изучения состояния системы после взлома (например, каким образом атакующий проник в систему и повысил права). Также подобные системы могут применяться для сбора информации о средствах, используемых злоумышленником.

Системы высокого взаимодействия

Honeypot высокого взаимодействия отличаются от предыдущих типов тем, что они включают в себя настоящие операционные системы и приложения, эмуляции не происходит.

Для создания подобного окружения не требуется вносить какие-либо изменения в реальные операционные системы. Большинство стандартных сборок не имеют никаких отличий относительно существующих производственных систем в большинстве организаций. Единственная вещь, которая определяет эти системы как *Honeypot*, - это то, что они не имеют производственного значения. Их цель – быть исследованными, атакованными или скомпрометированными. После получения злоумышленником полного доступа, он начинает взаимодействовать с полнофункциональной операционной системой, которая предоставляет ему возможность осуществлять любые действия, например, атаковать другие системы или собирать внутренний трафик. С этим связан высокий уровень риска подобных *Honeypot*.

В большинстве случаев *Honeypot* сильного взаимодействия располагаются в контролируемой среде, например, в сети - после межсетевого экрана. Способность контролировать злоумышленника происходит не от самого *Honeypot*, а от контролирующего сетевого устройства. Межсетевой экран предоставляет злоумышленнику возможность атаковать средство *Honeypot*, но запрещает производить внешние атаки. Такой подход позволяет изолировать «приманку» вне реальной сети и обеспечивает безопасность информации внутри сети.

Сопоставление классификаций систем представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сопоставление классификаций обманных систем типа *Honeypot*

Уровень взаимодействия	Сбор данных	Уровень протоколирования	Уровень имитации	Уровень риска
Слабое взаимодействие	Ограниченный	Низкий	Низкий	Низкий
Среднее взаимодействие	Переменный	Средний	Средний	Средний
Сильное взаимодействие	Расширенный	Высокий	Высокий	Высокий

Системы со слабым взаимодействием хорошо подходят скорее для исследовательских задач, чем для построения защитных систем. С их помощью,

как правило, собирается статистика: посещение сайта ботами, получение IP-адресов с которых отправляется спам и т.п.

Honeypot среднего взаимодействия предназначены непосредственно для осуществления защитных функций и, как правило, представляют собой системы раннего обнаружения при совершении атаки. Рационально применять системы такого класса для защиты критичных ресурсов и платформ, обрабатывающих информацию в режиме реального времени.

Системы сильного взаимодействия стоит использовать крайне осторожно и необходимо осуществлять постоянный контроль их работы. Обычно такие системы применяются в совокупности с системами среднего взаимодействия, расширяя их функционал.

Литература

1. Джессен Расел, Ренальд Кон. *Honeypot* (информационная безопасность) [Текст] / Джессен Расел, Ренальд М.: Книга по требованию, 2013, 106с.
2. Джесси Рассел. Обнаружение, основанное на сигнатурах [Текст] / Джесси Рассел, Рональд Кох, М.: Книга по требованию, 2013, 62с.:ил

Н.А. Седова, к. т. н., доц.

*(ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,
г. Владивосток)*

В.А. Седов, к. ф.-м. н., доц.

*(ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»,
г. Владивосток)*

УПРАВЛЕНИЕ УМНЫМ ДОМОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Нечёткая логика положительно зарекомендовала себя при решении различных задач в разных предметных областях, например, в работе [1] она успешно использована для идентификации параметров нелинейной модели гидромеханических агрегатов, в работах [2-4] – для настройки ветрогенерирующих установок, в работах [5, 6] – для обработки деталей на оборудовании с числовым программным управлением, а в работах [7, 8] – для создания диагностических систем поддержки принятия решений. Нечёткая логика также используется в составе гибридных систем: нейро-нечётких, в частности, для использования в образовательной среде [9, 10], или каскадных, в частности, для диагностики заболеваний [10].

Авторами ведётся систематическая научно-исследовательская работа по разработке систем управления умным домом, в частности, с использованием теории нечётких множеств и нечёткой логики. К числу таких систем относятся:

- 1) система управления микроклиматом;
- 2) система управления энергоснабжением;
- 3) системы управления водоснабжением и водоотведением;
- 4) системы обеспечения безопасности умного дома.

Система управления микроклиматом умного дома включает в себя нечёткую систему управления вентиляцией и кондиционирования воздуха, нечёткую систему теплоснабжения, а также нечёткую систему отопления умного дома.

Нечёткая система управления вентиляцией и кондиционирования воздуха умного дома состоит из таких лингвистических переменных, как «Температура», «Влажность», «Относительная влажность», «Тариф на электроэнергию», «Частота вращения двигателя компрессора», «Скорость вентилятора». База правил нечётких продукций модуля нечёткой системы управления системой кондиционирования воздуха для определения скорости вращения двигателя компрессора состоит из 49 правил.

Нечёткая система теплоснабжения включает подсистемы, определяющие нагрузку котельной, подсистему управления тепловым режимом пикового теплоисточника в составе комбинированной системы теплоснабжения. Также авторами разрабатывается нечёткая система теплоснабжения для города.

Нечёткая система отопления умного дома включает в себя такие лингвистические переменные, как «Абсолютное значение температуры» и «Относительное изменение температуры». Алгоритм управления системой отопления формализуется в виде следующего набора правил:

- если температура «низкая», то – «открыть» подачу горячей воды,
- если температура «высокая», то – «закрыть» подачу горячей воды,
- если изменение температуры «уменьшается», то – «открыть» подачу горячей воды,
- если изменение температуры «увеличивается», то – «закрыть» подачу горячей воды.

Система управления энергоснабжением в умном доме с использованием теории нечётких множеств состоит из двух подсистем: подсистемы оптимизации энергопотребления и подсистемы управления освещением. Для разработки подсистемы оптимизации энергопотребления на базе нечёткой логики определен перечень критериев по принятию решения об энергопотреблении: критерии, связанные с энергоэффективностью, критерии, связанные с расходами на электроэнергию, а также разработана методика оценки критериев с использованием нечётких чисел. Для разработки подсистемы управления освещением определены лингвистические переменные «Освещённость» и «Энергопотребление». База правил нечётких продукций нечёткой системы управления освещением состоит из девяти правил.

Для разработки нечёткой системы водоснабжения и водоотведения определены 12 входных лингвистических переменных.

Использование нечёткой логики для разработки системы обеспечения безопасности умного дома заключалось в разработке следующих подсистем:

- 1) подсистемы управления средствами пожаротушения умного дома;
- 2) подсистемы контроля доступа в умный дом;
- 3) подсистемы контроля состояния строительных конструкций.

Подсистема управления средствами пожаротушения умного дома представляет собой сложную нечёткую систему пожаротушения, состоящую из трёх нечётких подсистем, для которых определены лингвистические переменные: «Площадь пожара», «Направление распространения пожара», «Время после обнаружения» и др. Авторами также рассматривались вопросы

использования сетей Петри для оценки времени эвакуации людей при возникновении пожара, а также проведения нечёткого многокритериального анализа для оценки риска возникновения пожароопасных ситуаций.

Для разработки подсистемы контроля доступа в умный дом определены входные лингвистические переменные «Температура», «Давление», «Вибрация» и выходная лингвистическая переменная «Уровень действий». База правил нечётких продукций нечёткой системы контроля доступа содержит 27 правил.

Подсистема контроля за состоянием строительных конструкций базируется на определении остаточного ресурса строительных конструкций зданий с использованием понятия альфа-уровня нечёткого множества.

Для разработки и исследования вышеуказанных подсистем использована программная среда Matlab [12-14], в которой имеется Fuzzy Logic Toolbox [15] с возможностями ввода числа лингвистических переменных (входных и выходных), их названий и диапазонов изменения значений, выбора из двух систем нечёткого логического вывода и ряда др. параметров. Использование программной среды Matlab позволяет создавать скрипты для систем на базе нечёткой логики, в которые возможно прописать число входных и выходных лингвистических переменных, тип используемых в термах функций принадлежности, используя модуль GUIDE, создавать графический пользовательский интерфейс с визуализацией как графического представления функций принадлежности лингвистических переменных, так и работы системы в режиме функционирования.

Авторами планируется тестирование вышеуказанных подсистем, а также разработка единого графического пользовательского интерфейса для системы управления, базирующейся на теории нечётких множеств и нечёткой логики, умным домом.

Литература

1. Андриевская Н.В., Мубаракзянов Н.Р. Идентификация параметров нелинейной модели с использованием нечёткой логики // В мире научных открытий. 2015. № 10.2 (70). С. 614-624.
2. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан З.Х. Интеллектуальные регуляторы для установок распределенной генерации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 2 (46). С. 83-95.
3. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чай З.Х. Нечеткие регуляторы для ветрогенерирующих установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 7-8. С. 60-69.
4. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан З.Х. Нечеткий регулятор для горизонтально-осевой для ветрогенерирующей установки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 285-294.
5. Титов В.С., Бобырь М.В., Анциферов А.В. Алгоритм высокоскоростной обработки деталей на основе нечёткой логики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 6. С. 21-26.
6. Бобырь М.В., Титов Д.В., Кулабухов С.А. О некоторых свойствах мягкого алгоритма нечетко-логического вывода // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 2 (59). С. 39-51.
7. Безруков Н.С., Приходько А.Г., Ермакова Е.В., Еремин Е.Л., Перельман Ю.М. Система поддержки принятия решений для диагностики бронхиальной астмы и хронической обструктивной болезни лёгких // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2006. № S23. С. 32-34.
8. Безруков Н.С., Колосов В.П., Перельман Ю.М., Хижняк Ю.Ю. Система поддержки принятия решений для оценки контролируемости бронхиальной астмы в условиях муссонного климата Сахалина // Информатика и системы управления. 2009. № 1 (19). С. 15-22.
9. Амаева Л.А. Применение нейро-нечёткого подхода для построения модели студента // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 4. С. 109-111.
10. Найханова Л.В., Дышенов Б.А. Применение нейро-нечёткой системы вывода для установления дисциплин, соответствующих компетенции образовательного стандарта // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 5-1.

– С. 47-52; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40248> (дата обращения: 24.07.2016).

11. Кузнецова О.Ю., Соломахина А.А., Горбаченко В.И. Каскадная нейро-нечёткая информационная система для диагностики хронической почечной недостаточности // Моделирование и анализ данных. 2014. № 1. С. 86-90.
12. Мещеряков В.А., Денисов В.П. Реализация систем нечёткого логического вывода в MATLAB и FISPRO // В сборнике: Двадцать вторые апрельские экономические чтения Материалы международной научно-практической конференции. Под редакцией В.А. Ковалев и А.И. Ковалева. 2016. С. 201-205.
13. Шумков Е.А., Видовский Л.А. Задача управления проектами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 115. С. 760-768.
14. Соколова М.Л., Чернов В.Г. Логистика транспортной инфраструктуры туризма (логистика туристических перевозок) // Вестник Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия: Экономические науки. 2014. № 2 (2). С. 95-104.
15. Лавров Е.А., Барченко Н.Л. Эргономика электронного обучения. Подход к моделированию элементов человеко-машинного взаимодействия в обучающих средах // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2013. № 9. С. 244-249.

*П.С. Симоненков, маг.; К.И. Свириденков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЖАТИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество программных средств, реализующих функцию сжатия графических файлов. В данной статье проведен анализ отдельных показателей наиболее распространенных из них. На основании собранных статистических данных сделаны рекомендации о наиболее подходящих задачах для каждой из рассмотренных программ.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРОГРАММАХ

На сегодняшний день проблема эффективного сжатия графических файлов решается большим количеством программ, использующих разнообразные алгоритмы. В статье для рассмотрения были выбраны наиболее популярные из бесплатных утилит — Caesium, FastStone Photo Resizer и ImageCompression.SB.

Caesium — бесплатная и удобная в работе утилита, с помощью которой можно легко оптимизировать графические файлы, уменьшив их исходный размер за счет сжатия, и удаления метаданных, при этом сохраняя оригинальное качество изображений. Программа позволяет уменьшить размер картинки до 90%, что дает возможность сэкономить место на жестком диске ПК, а также быстро загружать фотографии в Интернет (например на Facebook, Google + и т.д.). В настройках можно задавать уровень сжатия и формат изображения (PNG, JPG, BMP) [1].

FastStone Photo Resizer — бесплатная программа, предназначенная для конвертирования картинок из одного формата в другой. Кроме этого FastStone Photo Resizer позволяет изменять размеры, переименовывать, обрезать, вращать, изменять цветовые схемы, добавлять текст и другие эффекты на изображения. Утилита может работать в пакетном режиме, поддерживает функцию «Drag & Drop», позволяет сохранять и загружать настройки и т.д. [2].

ImageCompression.SB — удобная программа для быстрого пакетного сжатия большого количества изображений. Бывают ситуации, когда нужно обработать большой объем фотографий или картинок для последующей

загрузки их на облачные сервисы или отправки по электронной почте. В такой ситуации ручное сжатие каждого файла занимает очень много времени и утомляет однообразным процессом. Программа ImageCompression.SB позволяет значительно упростить такую процедуру, обработав неограниченного количество изображений по установленному шаблону [3].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для сравнения работы программ сжатия изображений использовалось десять графических образцов. Пять из них представляли портрет с большим количеством мелких деталей в различных масштабах, три – портрет с малым количеством мелких деталей в различных масштабах. Также использовались файлы с изображением пейзажа и с черно-белым портретом размером 255x256 пикселей. Данные графические образцы были поочередно обработаны каждой из перечисленных программ. Размеры исходных и полученных в результате сжатия файлов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры сжатия графических образцов различными программами

Графический образец		Размер исходного файла в формате .bmp, Кб	Размер файла, сжатого программой, Кб		
Сжимаемое изображение	Количество точек в изображении		Caesium	FastStone Photo Resizer	ImageC ompres sion.SB
Портрет с большим количеством мелких деталей	512x512	768	40,3	46,1	113
	256x256	192	13,7	15,4	36,5
	128x128	48,1	5,16	5,55	12,6
	64x64	12,1	2,12	2,07	4,63
	32x32	3,13	1,07	867	1,85
Портрет с малым количеством мелких деталей	62x91	16,8	1,8	1,7	3,96
	109x160	51,3	3,53	3,71	9,23
	304x448	399	16,6	18,7	50,8
Пейзаж	160x89	41,8	4,65	4,91	11,4
Монохромный портрет	256x256	114	10,5	15,3	38,9

Коэффициент сжатия программы ImageCompression.SB во всех случаях оставался самым худшим из всех трех рассмотренных программ. В графических образцах наименьшего размера лучший коэффициент сжатия демонстрировала программа FastStone Photo Resizer, в то время как для крупных изображений лучший результат давала программа Caesium.

Кроме размера сжатого файла важным показателем является его качество. Численным выражением качества является показатель ошибки Δ . Каждая точка изображения имеет три показателя интенсивности — по одному для каждого из цветов RGB-палитры. Для каждого цвета показатель ошибки может быть

выражен как среднеквадратическое отклонение интенсивности цветовой составляющей точек сжатого изображения от интенсивности точек исходного файла. Соответственно, итоговый показатель ошибки будет выражен как среднее арифметическое ошибок для каждого из трех цветов. Таким образом, формула для расчета Δ выглядит так:

$$\Delta = (\sqrt{\sum_{i=0}^n (R_{1i} - R_{2i})^2} + \sqrt{\sum_{i=0}^n (G_{1i} - G_{2i})^2} + \sqrt{\sum_{i=0}^n (B_{1i} - B_{2i})^2}) / (3 * n),$$

где

i – номер текущей точки,

n – количество точек в изображении,

R_{1i} – яркость красного цвета i -й точки в оригинальном изображении,

R_{2i} – яркость красного цвета i -й точки в сжатом изображении,

G_{1i} – яркость зеленого цвета i -й точки в оригинальном изображении,

G_{2i} – яркость зеленого цвета i -й точки в сжатом изображении,

B_{1i} – яркость синего цвета i -й точки в оригинальном изображении,

B_{2i} – яркость синего цвета i -й точки в сжатом изображении,

Рассчитанные по данной формуле показатели ошибки Δ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели ошибки сжатых файлов

Графический образец		Показатель ошибки Δ		
Изображение	Количество точек в изображении	Caesium	FastStone Photo Resizer	ImageCompression.S B
Портрет с большим количеством мелких деталей	512x512	0,77	0,7	0,64
	256x256	0,95	0,92	0,82
	128x128	1,14	1,18	0,98
	64x64	1,44	1,45	1,2
	32x32	1,72	2,06	1,61
Портрет с малым количеством мелких деталей	62x91	1,39	1,05	0,69
	109x160	1,32	1,03	0,75
	304x448	1,12	0,85	0,64
Пейзаж	160x89	2,4	2,13	1,59
Монохромный портрет	256x256	2,97	2,22	2,78

Для наглядности имеет смысл ввести понятие относительного показателя ошибки δ – отношения показателя ошибки к его максимально возможному значению. Максимальная разница между яркостью цветových составляющих при их 8-битном кодировании составляет 255. Тогда вычислить δ можно по формуле:

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{255} \right) * 100\%.$$

Согласно этой формуле были вычислены относительные показатели ошибки δ для всех сжатых изображений. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Относительные показатели ошибки сжатых файлов

Графический образец		Относительный показатель ошибки δ , %		
Изображение	Количество точек в изображении	Caesium	FastStone Photo Resizer	ImageCompression.SB
Портрет с большим количеством мелких деталей	512x512	0,30	0,27	0,25
	256x256	0,37	0,36	0,32
	128x128	0,45	0,46	0,38
	64x64	0,56	0,57	0,47
	32x32	0,67	0,80	0,63
Портрет с малым количеством мелких деталей	62x91	0,54	0,41	0,27
	109x160	0,52	0,40	0,29
	304x448	0,44	0,33	0,25
Пейзаж	160x89	0,94	0,83	0,62
Монохромный портрет	256x256	1,16	0,86	1,09

Согласно таблице 3, наименьшие потери при сжатии наблюдаются при использовании ImageCompression.SB для всех образцов кроме черно-белого. Качество сжатых черно-белых изображений лучше всего при работе с программой FastStone Photo Resizer, но при сжатии небольших цветных изображений показатели этой программы наоборот самые худшие. В остальных случаях худшими по качеству являются файлы, сжатые программой Caesium.

ВЫВОДЫ

Каждая из трех рассмотренных в статье программ обладает своими достоинствами и недостатками. При их применении необходимо учитывать характер исходных изображений. Так, программу Caesium можно использовать тогда, когда требуется максимальное сжатие, при этом потери качества будут несколько выше, чем при использовании других программ. В случаях, когда приоритетно сжатие с минимальными потерями рекомендуется использовать программу ImageCompression.SB (для цветных изображений) или FastStone Photo Resizer (для черно-белых изображений). Программа FastStone Photo Resizer имеет промежуточные показатели (коэффициент сжатия хуже, чем у Caesium, но лучше, чем у ImageCompression.SB, в то время как качество сжатого изображения уступает ImageCompression.SB, но выше, чем у Caesium), однако при работе с черно-белыми изображениями эта программа дает наилучший по качеству результат. Размер сжатого файла с монохромным изображением значительно меньше, чем у ImageCompression.SB, но несколько больше, чем у Caesium.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.softportal.com/software-39663-imagecompressionsb.html>
2. <http://www.softportal.com/software-4382-faststone-photo-resizer.html>
3. <http://www.softportal.com/software-24106-caesium.html>

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ID3 ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РОБОТА

Робототехника становится неотъемлемой частью нашей жизни. В недалеком будущем роботы станут незаменимым помощником человека. Проблема создания роботов требует усилий различных научных дисциплин. Центральное место среди них занимают исследования в области искусственного интеллекта, поскольку хороший робот – это умный робот.

Важнейшим свойством интеллектуальных систем является способность к обучению. Очень сложно построить алгоритм поведения робота, который обеспечил бы адекватное решение даже относительно простых задач в самых разнообразных условиях. А если условия радикально изменятся? Ответ на этот вопрос дан уже давно – робот должен быть обучаемым. В этой связи вопросы обучения роботов привлекают пристальное внимание многих исследователей.

В статье рассматривается возможность применения алгоритма ID3 для обучения роботов задаче классификации.

Алгоритм ID3 [1] обеспечивает построение дерева принятия решений, которое может быть использовано для решения задачи классификации данных. Цель – создать достаточно экономичную конструкцию, которая бы описывала эту функцию и позволяла классифицировать новые, поступающие извне данные.

Предположим, что нас интересует, пройдет ли робот по болоту. Известно, что проходимость робота зависит от ряда параметров:

- болото глубокое или нет;
- тяжелый ли робот;
- все ли системы в роботе работают нормально;
- идет ли дождь.

Допустим, что имеется некоторая статистика по проходимости робота (таблица 1).

Таблица 1 - Проходимость робота

Глубина болота	Тяжесть робота	Работоспособность систем робота	Идет ли дождь	Пройдет ли робот
Да	Легкий	Рабочие	Да	Нет
Да	Легкий	Рабочие	Нет	Да
Да	Легкий	Не рабочие	Нет	Да
Нет	Легкий	Не рабочие	Нет	Да
Нет	Тяжелый	Не рабочие	Нет	Нет
Нет	Легкий	Не рабочие	Да	Да
Да	Тяжелый	Рабочие	Да	Нет
Нет	Тяжелый	Рабочие	Нет	???

Требуется предсказать, пройдет ли робот. Предположим, что болото неглубокое, робот тяжелый, системы рабочие, а дождя нет. Эта ситуация описана в последней строке таблицы, но правильный ответ пока не известен. Как предсказать исход на основе дерева принятия решений? На основе алгоритма ID3 можно построить дерево принятия решений, которое представлено на рисунке 1.

В узлах дерева принятия решений, не являющихся листьями, находятся атрибуты, по которым различаются ситуации. В листьях находятся значения целевой функции. Обозначим 1 как ответ «пройдет», 0 – «не пройдет». Спускаясь по ребрам, будем классифицировать имеющиеся случаи. Для классификации новых примеров нужно пройти по дереву сверху вниз и определить, в какой из листьев попадает интересующая нас ситуация.

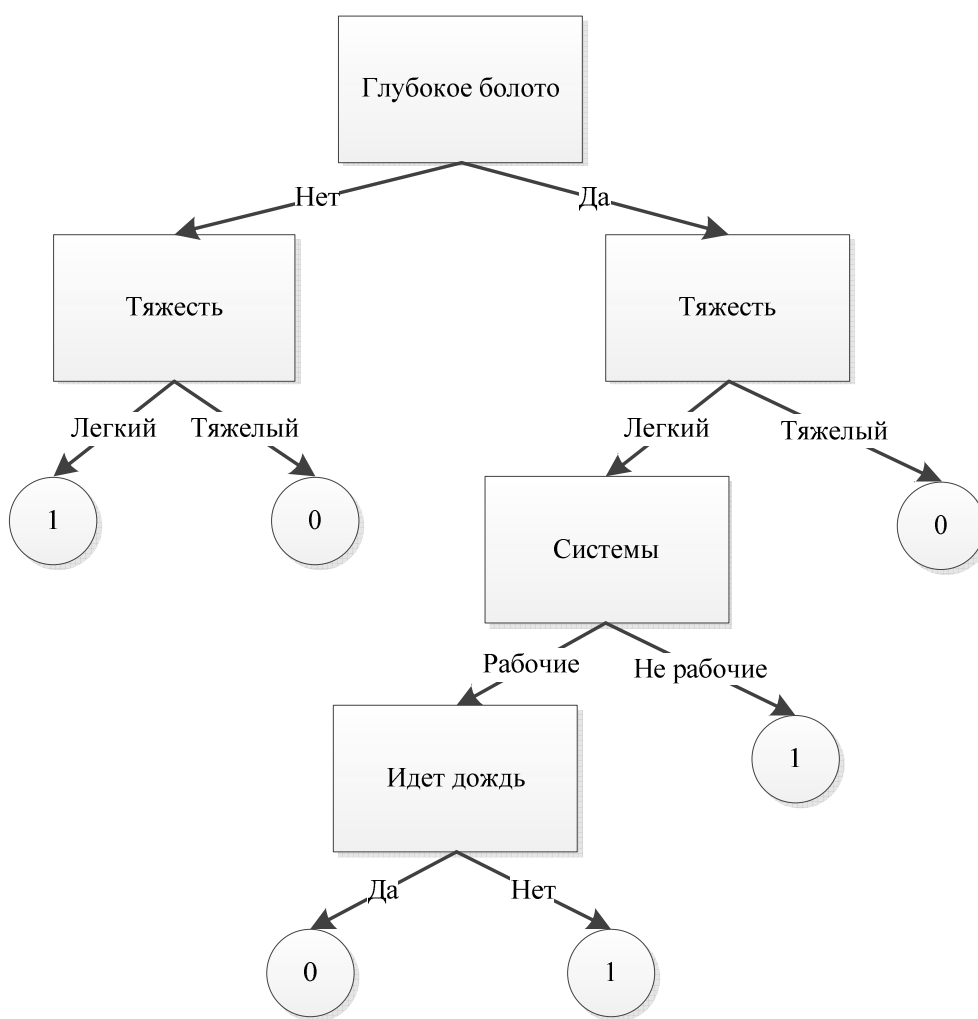


Рисунок 1 – Первый вариант дерева принятия решений

В процессе обучения происходит видоизменение дерева принятия решений в соответствии со вновь поступающей информацией. Например, если бы в вышеописанном случае робот не прошел, ничего менять было бы не нужно. Но если бы прошел, то дерево принятия решений пришлось бы

дополнить еще одним узлом, и оно приняло бы вид, изображенный на рисунке 2.

Качество дерева принятия решений напрямую связано с его глубиной: чем меньше глубина, тем быстрее можно по дереву спуститься и получить ответ.

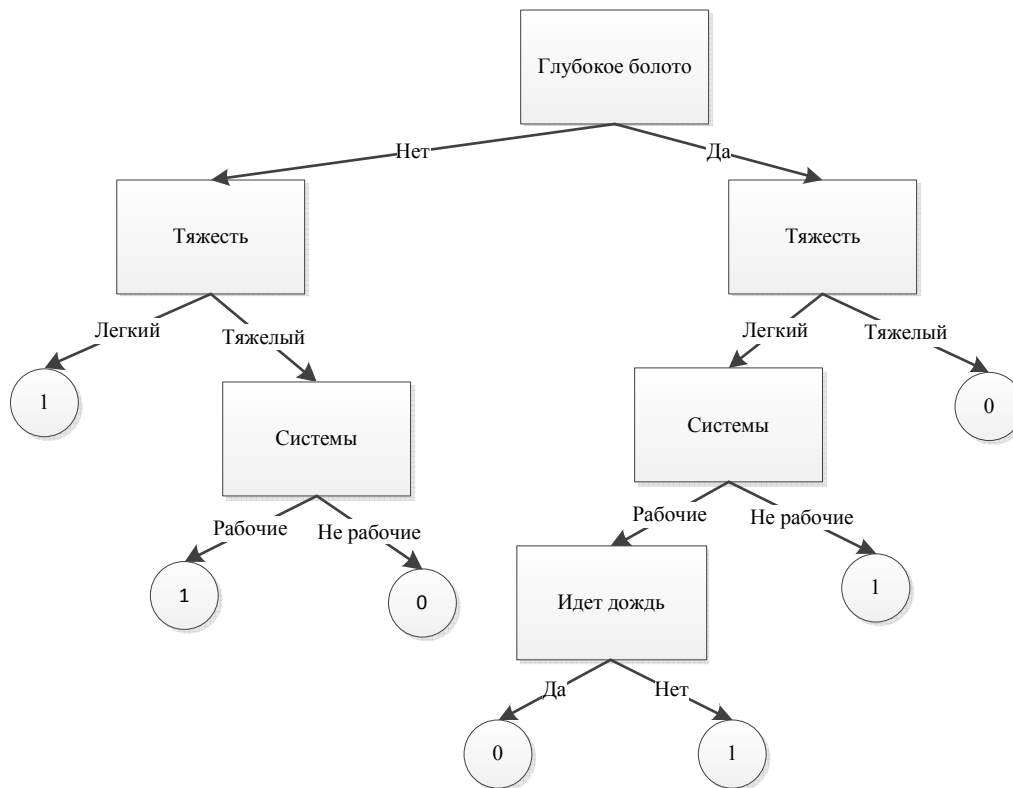


Рисунок 2 –Дерево после добавления еще одного случая

Интуитивно понятно, чтобы получить оптимальные деревья принятия решений, нужно на каждом шаге выбирать атрибуты, которые лучше всего характеризуют целевую функцию. Это требование формализуется через понятие «энтропия»:

$$H(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n p(\varepsilon_i) \log_2 \frac{1}{p(\varepsilon_i)} = - \sum_{i=1}^n p(\varepsilon_i) \log_2 p(\varepsilon_i)$$

Стоит отметить, что энтропия не зависит от собственно случайной величины, а только от ее распределения $p(\varepsilon)$. В конечном случае разумно будет задать энтропию на векторе P_ε значений вероятностей дискретных исходов:

$$H(P_\varepsilon) = - \sum_{i=1}^n P_\varepsilon^i \log_2 P_\varepsilon^i$$

Идеальный случай – когда в каждом потомке энтропия равно нулю, то есть функция полностью классифицирована текущим атрибутом. Энтропия при этом будет разной в разных потомках, и общую сумму нужно считать с учетом того, сколько исходов осталось в рассмотрении каждого из потомков.

Таким образом, алгоритм ID3 позволяет достаточно просто обучать робота путем добавления в дерево принятия решений новых вершин. Вывод решения путем прохода по вершинам дерева также происходит достаточно быстро, что позволяет применять этот подход в режиме реального времени.

Литература

1. Николенко С.И., Тулупьев А.Л. Самообучающиеся системы. - М.: МЦНМО, 2009. – 288 с.

О.В. Стоянова, д. т. н., доц.

(Санкт-Петербургский государственный университет)

ПРОЦЕДУРА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Экспертные знания являются необходимым элементом любой системы управления. Форма их представления и методы обработки определяются особенностями объекта управления и множеством решаемых управленческих задач, с одной стороны, и ресурсами, которые можно привлечь для обработки этих знаний, с другой.

Для управления проектами характерно наличие широкого круга задач, в решении которых экспертные знания являются основной составляющей. Значительное число таких задач относится к категории управления замыслом (содержанием) проекта в соответствии с классификацией, представленной в своде знаний по управлению проектами РМВоК. В процессе управления содержанием формализованные модели используются крайне редко, что приводит к высокой субъективности решений, принимаемом на начальном этапе планирования проектов.

Основной причиной сложившейся ситуации является низкая степень доверия к моделям, использующим в качестве параметров экспертные оценки. Это отчасти связано и с недостатком эффективных процедур предварительной обработки таких оценок, обеспечивающих их характеристики в соответствии с требованиями формальной модели. Поэтому исследования, направленные на разработку подобных процедур являются актуальными и имеют высокую практическую значимость для управления сложными проектами.

Виды экспертных знаний в проектном управлении.

Экспертные знания, которые используются в процессе управления сложными проектами, могут быть представлены в различных формах, определяющих особенности их применения на этапах планирования, мониторинга и оценки исполнения проектов.

На рисунке 1 представлено распределение различных видов экспертных знаний в системе координат сложность формализации/частота использования. Наименьшей сложностью формализации характеризуются экспертные знания, представленные в виде оценок показателей. При этом чаще всего применяются точечные оценки, поскольку алгоритмы их обработки являются наиболее простыми по сравнению с алгоритмами обработки интервальных и нечетких оценок.

Большей сложностью формализации отличаются оценки связей проекта, как структурных, так и причинно-следственных. Чаще всего используются оценки детерминированных структурных связей, самым известным примером которых является иерархическая структура работ проекта. Стохастические структурные связи отличаются более высокой сложностью формализации и реже используются. Оценки причинно-следственных связей в виде формальных моделей, несмотря на их высокую значимость для проектного управления, недостаточно активно используются в существующих системах управления проектам.

Для каждого вида экспертных знаний существуют свои формы представления, выбор которых обуславливает выбор алгоритмов их обработки.



Рисунок 1 – Экспертные знания в управлении проектами

Предлагаемая процедура обработки экспертных знаний включает следующие этапы.

1. Выбор формы экспертного оценивания.

На данном этапе предлагается определить форму оценивания в зависимости от вида оцениваемых параметров.

2. Получение исходных оценок.

Алгоритм получения исходных оценок определяется результатами предыдущего этапа. Так для точечных экспертных оценок количественных показателей чаще всего применяется абсолютная шкала, качественных - порядковые (ранговые) шкалы. Точечные оценки часто нормируются для целей дальнейшей обработки.

3. Предварительная обработка исходных оценок.

На данном этапе преимущественно используется проверка согласованности экспертных оценок в случае коллективной экспертизы. Эта процедура достаточно просто алгоритмически реализуется только для точечных оценок показателей. В связи с отсутствием эффективных алгоритмов проверки согласованности для других видов экспертных знаний данный этап при их

обработке, как правило, отсутствует. Это приводит к получению результатов с невысокой достоверностью на следующем этапе.

4. Получение итоговой оценки.

Итоговая оценка представляет собой тот или иной вариант свертки исходных предварительно обработанных показателей.

5. Формулировка правила анализа итоговой оценки.

Для правильной интерпретации итоговой оценки должны быть формализованы правила ее анализа.

Содержание перечисленных этапов иллюстрируется представленным ниже примером обработки экспертных оценок показателей.

Постановка задачи. Пусть $I_1, I_2, \dots, I_n$ – альтернативные идеи относительно концептуального решения проекта. Каждая идея I_k может быть оценена экспертами по ряду показателей: k_1 – новизна, k_2 – перспективность, k_3 – техническая реализуемость, k_4 – полнота и качество проработки идеи. Требуется осуществить выбор «наилучшей» идеи на основании экспертных оценок.

Решение задачи двумя различными способами представлено ниже.

Способ 1. Использование метода парных сравнений.

1. Выбор формы оценивания

Применим точечные оценки показателей идеи.

2. Получение исходных оценок.

Используем бальную шкалу от 1 до 10. Бальные оценки значений показателей для альтернативных идей нормируем с использованием одного из правил нормировки. С учетом смыслового содержания показателей, рассматриваемых в примере, целесообразно использовать нормировку вида:

$$\bar{k}_i = \frac{k_i - k_{\min i}}{k_{\max i} - k_{\min i}}.$$

3. Выбор алгоритма предварительной обработки экспертных данных.

На этапе предварительной обработки показатели идеи $k_1 \dots k_4$ оцениваются экспертами по шкале предпочтений одного из известных видов, например, предложенной Саати в работе [1] или упрощенной шкале, приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Шкала оценивания отношений предпочтения

Отношение предпочтения	Значение оценки
намного меньшая значимость	0,25
меньшая значимость	0,5
Эквивалентность	1
большая значимость	2
намного большая значимость	4

Рассчитываются значения коэффициентов значимости α_i^* :

$$\alpha_i^* = k_{i1} \cdot \sum_{j=1}^n k_{1j} + k_{i2} \cdot \sum_{j=1}^n k_{2j} + \dots + k_{in} \cdot \sum_{j=1}^n k_{nj}.$$

Рассчитываются значения нормированных коэффициентов значимости α_i :

$$\alpha_i = \frac{\alpha_i^*}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^*}.$$

4. Получение итогового значения оценки.

Обобщенный показатель рассчитывается по формуле аддитивной или мультипликативной свертки. В нашем примере применяется аддитивная свертка:

$$k_{об} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \bar{k}_i.$$

5. Формулировка правила анализа итоговой оценки.

В качестве искомой принимается идея, для которой $k_{об}$ имеет максимальное значение.

Результаты расчета коэффициентов значимости показателей на основании индивидуальной оценки экспертом идей проекта по развитию инновационной промышленной площадки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов значимости показателей

	k_1	k_2	k_3	k_4	α_i^*	α_i
k_1	1	0,5	0,5	0,5	11,63	0,14
k_2	2	1	2	0,5	22,5	0,27
k_3	2	0,5	1	0,25	10	0,12
k_4	2	2	4	1	40	0,47

Итоговый вариант расчета обобщенных показателей для трех альтернативных идей приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета для выбора «лучшей» идеи

	k_1	$\bar{k}_1$	k_2	$\bar{k}_2$	k_3	$\bar{k}_3$	k_4	$\bar{k}_4$	$k_{об}$
I_1	8	1	6	0	8	0,5	8	1	0,67
I_2	6	0,5	8	0,5	6	0	8	1	0,68
I_3	4	0	10	1	10	1	6	0	0,38

Из представленных результатов следует вывод о том, что предпочтение следует отдать идее I_2 , поскольку для нее обобщенный показатель имеет максимальное значение.

Способ 2. Использование системы нечетко-логического вывода.

1. Выбор формы оценивания

Применим нечеткие оценки показателей идеи, поскольку для большинства экспертов оценивание с опорой на семантическое описание критерия оценки является наиболее простым.

2. Получение исходных оценок.

Для оценивания показателей идеи предлагается использовать нечеткие переменные, представленные в таблице 4 [2]. Для каждого из показателей по каждой идее эксперту требуется указать терм-множество. Выбранные терм-множества являются исходными оценками.

3. Выбор алгоритма предварительной обработки экспертных данных.

Предварительная обработка экспертных данных предполагает уточнение расположения экспертных оценок показателей идеи по оси абсцисс на графике функций принадлежности. Для этого предложено использовать метод парных сравнений. Объектами сравнения являются одноименные показатели для альтернативных идей. Данные показатели сравниваются с выбранной «опорной точкой», характеризующей некоторую ранее реализованную идею, информация по которой является наиболее полной.

Таблица 4 – Характеристика нечетких оценок показателей

Лингвистическая переменная	Терм-множество	Описание нечетких переменных
Новизна	<абсолютная> <частичная> <отсутствует>	аналогов не существует аналоги не конкурентны есть конкурентные аналоги
Перспективность	<высокая> <средняя> <низкая>	результаты востребованы потребность в результатах зависит от множества условий использование результатов не очевидно
Техническая реализуемость проекта	<полная> <частичная> <не реализуем>	возможна реализация на существующем уровне развития технологий необходимы новые технологии, появление которых возможно необходимы технологии, появление которых маловероятно
Полнота и качество проработки идеи	<высокое> <среднее> <низкое >	проработаны все основные вопросы некоторые вопросы не проработаны качественная проработка отсутствует

4. Получение итогового значения оценки.

Данный этап реализован в системе SciLAB. Блоки нечёткого вывода используют базу правил вида:

«IF (k_1 IS t_{1j}) AND (k_2 IS t_{2j}) ...AND (k_i IS t_{ij}) THEN ($k_{об}$ IS $t_{об}$)»,

где k_i – оценка показателя идеи, полученная на предыдущем этапе; t_{ij} – один из термов соответствующей лингвистической переменной.

5. Правило анализ итоговой оценки аналогично используемому в первом способе.

По результатам расчета «лучшей» идей признана идея I_2 , для которой значение обобщенного показателя составило 0,73.

Согласованность результатов, полученных с помощью различных методов, свидетельствует об их достоверности. В связи с этим предложенная

процедура может быть рекомендована для дальнейшего исследования на других видах экспертных знаний.

Литература

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 256 с.
2. Стоянова О.В. Организация экспертных процедур оценки показателей проектов наноиндустрии // Научное обозрение. – 2013. – №6. – С. 216-219.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-02935)

А.А. Тютюнник, к.э.н, доц.; А.С. Рындина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске, г. Смоленск)
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ
ПОЛИТИКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Одной из важных составляющих успешного функционирования организации является наличие квалифицированных сотрудников и эффективная кадровая политика. В настоящее время многие организации сталкиваются с проблемами кадровой компетенции, а именно:

- трудности поиска квалифицированного персонала;
- недостаток специалистов на рынке труда;
- низкая эффективность кадровой политики.

Главной целью кадровой политики выступает достижение эффективности в процессах сохранения и обновления качественного и численного состава кадров в соответствии с потребностями организации, действующего законодательства и состоянием рынка труда. Модель реализации кадровой политики приведена на рисунке 1.

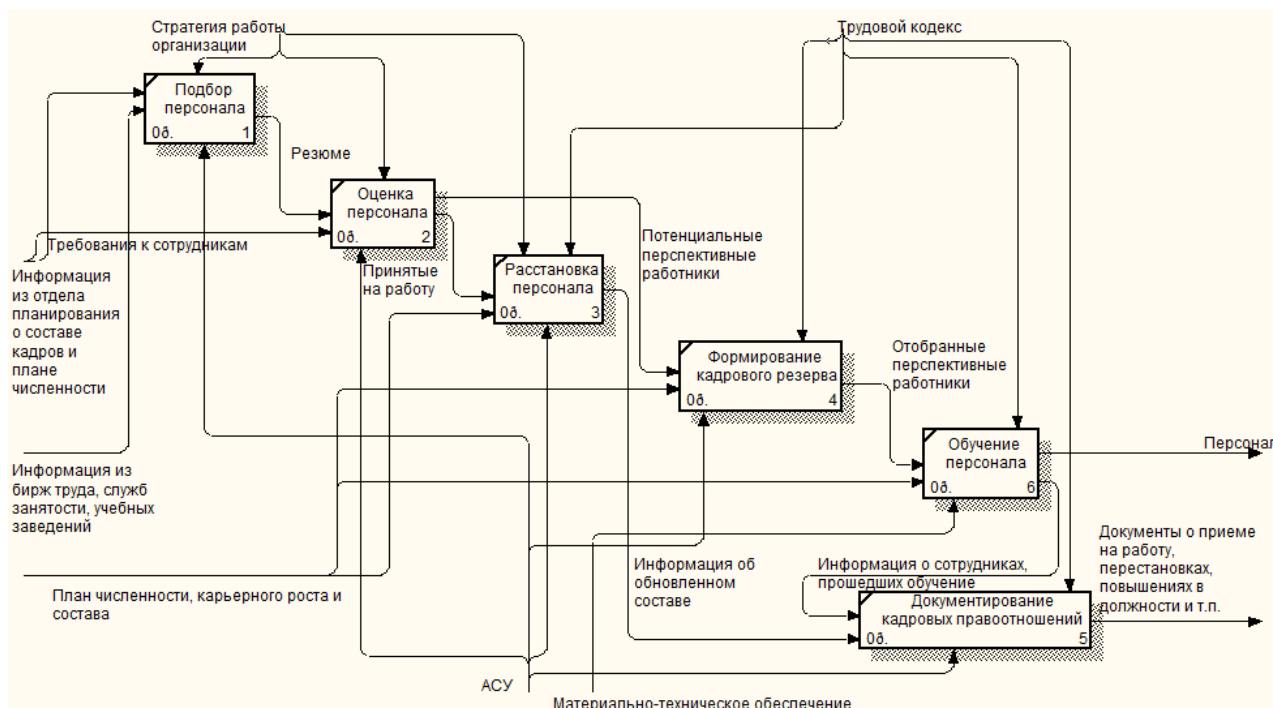


Рисунок 1 – Процессы реализации кадровой политики

Для эффективности управления кадровыми ресурсами необходимо рассмотреть возможные пути реализации кадровой политики. Рассматриваться будут направления, которые непосредственно связаны с формированием кадровой политики и позволят в дальнейшем повысить ее эффективность.

Первым направлением являются процессы планирования состава и численности персонала. Для данного процесса необходимо определить потребность в персонале на определенный промежуток времени, сравнить имеющийся кадровый потенциал с требуемым, учесть возможные кадровые перестановки, включающие в себя и увольнение рабочих. Кадровые перестановки можно начинать планировать только тогда, когда уже сформирован план численности и состава кадров. Эффективность осуществляемых перестановок можно повысить путем снижения затрат на повышение квалификации и подготовку персонала. Это возможно достигнуть в том случае, если сотрудники нацелены на продвижения по карьерной лестнице в данной организации.

Следовательно, вторым направлением являются процессы планирования карьерного роста сотрудников. В первую очередь необходимо определить, насколько каждый сотрудник организации заинтересован в карьерном росте, а также их способности, которые необходимы для работы на должности, которую ему хотелось бы занимать в будущем. В результате выявляются перспективные работники, которые в дальнейшем заносятся в резерв кадров и при необходимости направляются на повышение квалификации. Эффективность данного процесса можно оценить снижением затрат на подготовку неперспективных работников, а также снижением количества свободных должностей.

Следует отметить также важность взаимодействия с учебными заведениями, так как это дает возможность удовлетворять потребность организации в молодых специалистах. Учебные заведения, отправляя студентов на практику в организации, позволяют последним разглядеть в студентах возможный потенциал, а студентам вариант дальнейшего трудоустройства. Следовательно, при планировании численности и состава персонала должна быть доступна информация об учебных заведениях и количестве студентов, желающих устроиться по специальности.

Для оптимального взаимодействия всех процессов кадровой политики и повышения их эффективности необходимо использовать автоматизированную систему управления кадровой политикой. Система позволяет своевременно определять потребность в новых сотрудниках, повышает вероятность ее удовлетворения, позволяет быстро посчитать результат каждой кадровой перестановки. Архитектура данной системы (рисунок 2) должна обеспечивать постоянный доступ к информации, хранящейся в базе данных: об имеющихся вакансиях, о сотрудниках организации, о резюме, о требованиях к кадрам.

Автоматизированная система управления кадровой политикой представляет собой основу обмена данными между организацией и внешним окружением.

В системе должна быть предусмотрена возможность управление базой данных о кадровых агентствах и службах занятости. В таком случае, обмен данными об имеющихся вакансиях в организации и резюме соискателей с кадровыми агентствами будет происходить автоматически. Это дает возможность ускорить процесс поиска и рассмотрения кандидатов.

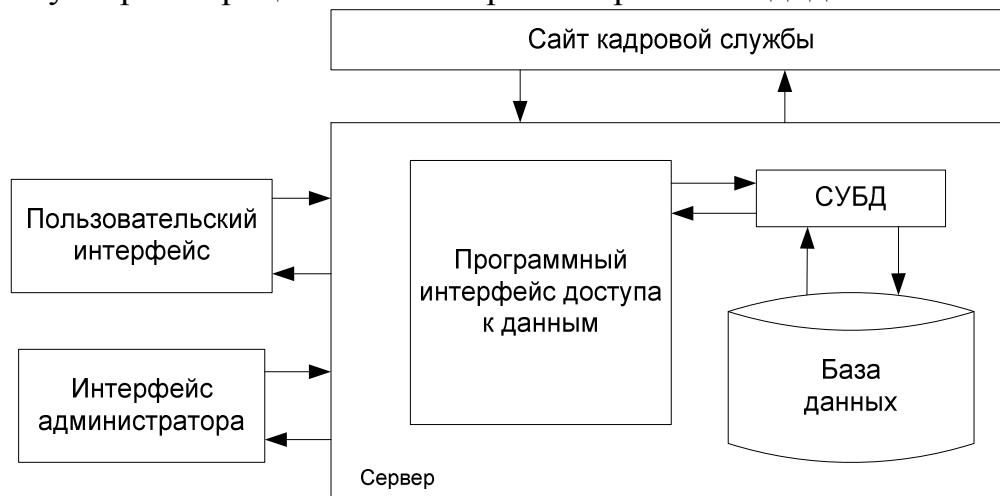


Рисунок 2 – Архитектура автоматизированной системы управления кадровой политикой

Также необходимо обеспечить работу с базой данных учебных заведений, что позволит планировать набор молодых специалистов и осуществлять повышение квалификации опытных работников. Обмен данными (о потребностях предприятия в молодых специалистах и о количестве выпускников, желающих устроиться по специальности) между системой и учебными заведениями происходит в автоматическом режиме.

Предлагаемая система позиционируется как программа для автоматизации работы сотрудников кадровой службы и не включает функций автоматизации кадрового документооборота. Система автоматизирует направления реализации кадровой политики от планирования численности и состава кадров до принятия решения о переводе на другую должность и направлении на повышение квалификации (рисунок 3).



Рисунок 3 – Функции АСУ кадровой политикой

Для интеграции данной системы с системами кадрового документооборота должен быть разработан модуль импорта-экспорта данных о составе кадров и численности. Например, реализовать модуль для обмена данными с системой 1С: "Зарплата и кадры".

Таким образом, автоматизированная система будет предоставлять все возможности, для повышения эффективности проведения кадровой политики, а именно:

1. Планирование потребности в кадрах: составление внутреннего кадрового резерва, планирование потребности кадров, составление внешнего кадрового резерва, планирование карьеры.

2. Анализ и оценка персонала: ведение истории работы с каждым сотрудником и соискателем, управление БД о резюме соискателей, управление БД о вакансиях.

3. Поиск и отбор кадров: определение критериев отбора персонала, управление БД о соискателях.

4. Взаимодействие с пользователями: регистрация новых пользователей, организация интерфейса администратора, определении прав доступа отдельным группам, обеспечение сохранности и безопасности базы данных.

5. Связь с соискателями и внешними организациями: экспорт данных на веб-сайт кадровой службы, передача информации о вакансиях кадровым агентствам и учебным заведениям, получение информации о соискателях, управление БД о кадровых агентствах и учебных заведениях.

Следовательно, внедрив АИС управления кадровой политикой, организация сможет повысить эффективность отбора квалифицированных сотрудников, сократить издержки на поиск квалифицированных сотрудников. Кроме того, АИС позволит эффективно управлять перестановкой сотрудников, так как будет давать возможность отбора перспективных и заинтересованных в карьерном росте сотрудников и сократит затраты на обучение и повышение квалификации незаинтересованных лиц.

Литература

1 Аликаев О. А. Кадровая политика / О. А. Аликаев. - М. : Лаборатория книги, 2011. 106 с.

2 Магомедбеков Г. У. Пути совершенствования кадровой политики в организации // Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. №2. 2014. С. 82-83

*А.А. Тютюнник, к.э.н, доц.; А.С. Рындина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске, г. Смоленск)*

РОССИЙСКИЙ РЫНОК СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

На современном этапе развития, с растущим числом внедрений информационных технологий в деятельность организаций и тенденций развития программного обеспечения, все более востребованными становятся системы электронного документооборота (СЭД). Данные системы позволяют значительно сократить время доступа к информации, оптимизируют хранение

документов, позволяют улучшить качество обслуживания клиентов, снижают риски утери документов и доступа к данным.

В настоящее время рынок российских СЭД находится на стадии стремительного развития. Для рынка СЭД характерны такие же общемировые тенденции перехода к применению новейших перспективных технологий, таких как мобильность, облака и т.п. Однако, данный рынок обладает своей спецификой, которая обуславливается особенностями делопроизводства в условиях вертикальной иерархии управления. Но в большей степени, российские рынки СЭД идентичны западным концепциям.

За 2015 год российский рынок систем электронного документооборота вырос на 10%. Хотя по сравнению с 2014 годом, рост немного замедлился, все равно наблюдается положительная тенденция его развития, за счет проектов по сопровождению, а также модернизации и масштабированию систем (рисунок 1). Как видно из рисунка, с каждым годом наблюдается небольшое снижение роста, что обусловлено общеэкономической ситуацией в стране.

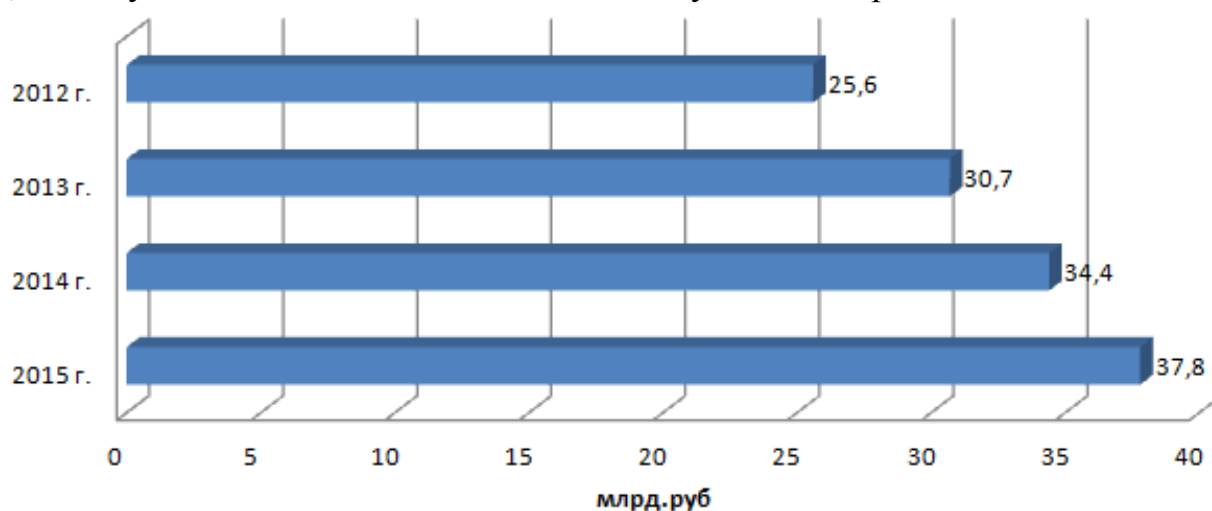


Рисунок 1 – Динамика российского рынка СЭД

Тенденцией последних двух лет является применение аналитических инструментов, которые встроены в системы электронного документооборота. Данная тенденция обуславливает тем, что в период экономических спадов большое число организаций стремятся пользоваться инструментами для минимизации рисков, выявления узких мест и повышения эффективности.

Одним из примеров аналитики выступает всесторонний контроль сроков согласования договорной и финансовой документации. Контроль сроков оказывает существенное влияние на доходность организаций. Углубленная аналитика дает возможность раскрыть причины просрочки, определить ответственных и в дальнейшем избежать затруднений в движении средств, а значит, прямых финансовых издержек.

Согласно базе TAdViser, по количеству реализованных проектов лидирует система электронного документооборота «Дело», по данным на 2015 год. Незначительно меньше реализовано проектов с использованием системы

DocsVision. Также лидирующие позиции занимают СЭД – ELMA, Directum и «1С:Документооборот 8» (рисунок 2).

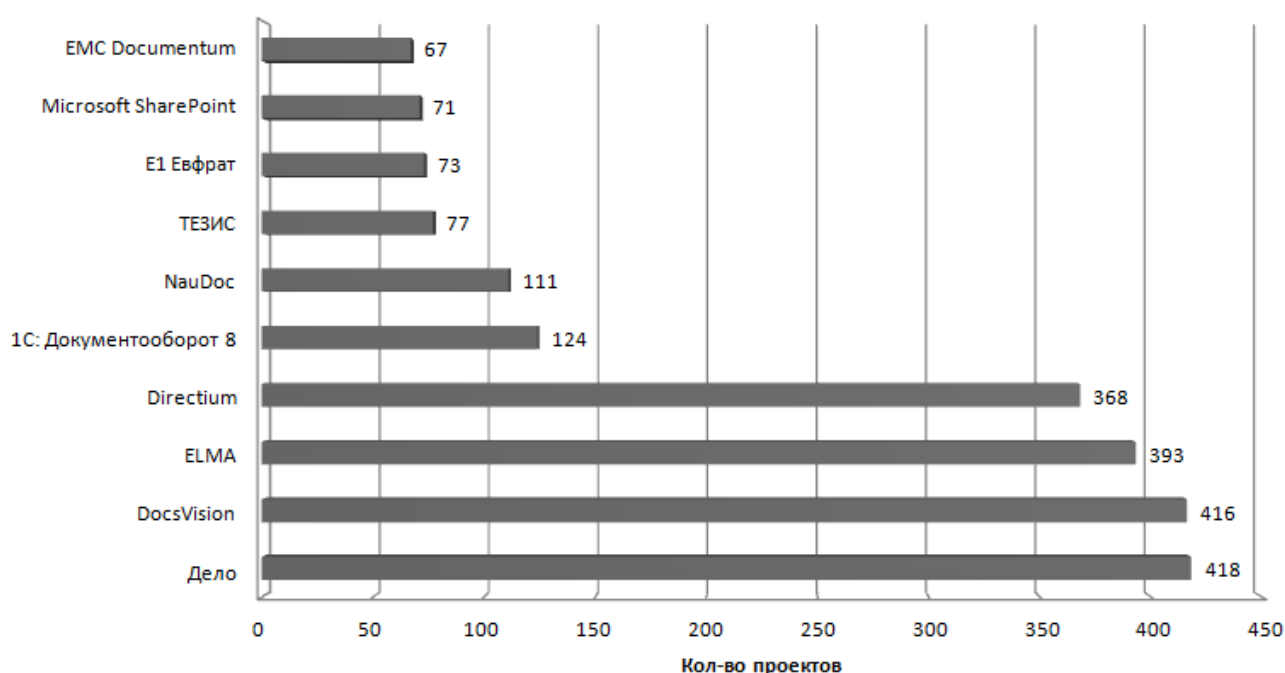


Рисунок 2 – СЭД по количеству реализованных проектов

По сравнению с зарубежными рынками, российский рынок СЭД развивается с особенностями, связанными с организацией процесса документооборота организаций как государственного, так и частного сектора. На российском рынке выделяются два направления развития и внедрения систем документооборота: традиционно российское и западное. Сравнительная характеристика данных методов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика принципов организации документооборота

Западные принципы организации документооборота	Российские принципы организации документооборота
Горизонтальный характер движения документов, предусматривает попадание документа сразу к исполнителю, не попадая к руководству	Вертикальный характер движения документов внутри организации: руководитель – исполнитель – руководитель
Отсутствует централизованный контроль	Отслеживается весь комплекс работ с документами в регистрационных журналах, где отражаются все сведения о документах, их перемещении, о контроле сроков исполнения и т.п.
Документы регистрируются непосредственными исполнителями, некоторые виды документов не регистрируются. Подразделения, специализирующиеся делопроизводством, не создаются.	Российское делопроизводство предполагает ведение регистрационно-контрольных и отчетных форм журналов. Предполагает создание специализированных служб обеспечения единого порядка обработки документов, управления делами.

Можно сделать вывод, что оптимальным решением по созданию СЭД для российских организаций должно включать как традиционно российские принципы работы с документами, так и прогрессивные западные. Так как рациональное сочетание данных принципов позволит значительно увеличить конкурентоспособность создаваемой системы.

Исходя из анализа принципов работы с документами был установлен ряд положительных и отрицательных сторон СЭД. По проведенному сравнению можно выделить следующие недостатки, которые необходимо учесть при внедрении систем электронного документооборота:

1. Непрерывность. Необходима для того, чтобы избежать ситуаций потери данных. Для этого используется внешняя система резервного копирования.

2. Безопасность. Для обеспечения конфиденциальности информации необходимо использовать локальные сервера, ограничение доступа и шифрование. Некоторые документы необходимо иметь в бумажном виде.

3. Процессы. Переход на электронный документооборот предполагает пересмотр текущих процессов и операций (например, приобретение цифровой подписи или электронной платежной системы). Также сотрудники организации должны уметь пользоваться и разбираться в данных системах.

4. Время. Для осуществления всех изменений в операциях при переходе на электронный документооборот может потребоваться гораздо больше времени, чем ожидается.

Однако, СЭД преобладает рядом значительных преимуществ:

1. Экономия. Отказ от бумажного документооборота позволяет сократить издержки на средства по хранению документов в архивах, а также непосредственно самого процесса документооборота.

2. Доступ. Электронный документооборот предполагает цифровой формат всех документов, которые можно хранить в облаке, получать доступ к ним через веб-приложения, что повышает мобильность сотрудников, получающих возможность работать удаленно.

3. Организация. Электронные документы легче находить, упорядочивать и редактировать, следовательно снижаются затраты времени на работу с документами и их обработку.

Таким образом, можно сказать, что роль систем электронного документооборота очень велика. Развитие СЭД позволит организациям приобрести эффективный инструмент контроля деятельности всех структурных подразделений, что позволит повысить общую управляемость организации и эффективность ее деятельности.

Литература

1 Официальный сайт TAdViser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 01.10.16).

2 Кузнецова Т.В. Делопроизводство (Документационное обеспечение управления). – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2014. – 236 с.

РАЗВИТИЕ ПРОЕКТНОГО ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

Информационные системы управления (ИСУ) являются важнейшим элементом в функционировании бизнеса, правительственных и военных организаций, учреждений здравоохранения, программ обучения и т.д. Они выполняют задачу по обеспечению персонала и руководителей организаций необходимой и объективной информацией, которая помогает организовать эффективное управление. В условиях антироссийских санкций политика импортозамещения продолжает оставаться крайне актуальной для России, в связи с этим актуальны разработки отечественных информационных систем.

В настоящее время в сфере разработки и внедрения ИСУ сложилась неблагоприятная ситуация. С одной стороны, квалификация отечественных разработчиков достаточно велика, а с другой стороны, у программистов и системных аналитиков недостаточно знаний и опыта в прикладных областях разрабатываемых проектов. Невозможность провести детализированный анализ предметной области и получить структурированные знания приводит к частым доработкам и снижению эффективности работы ИСУ.

Большой вклад в решение данной проблемы внесли такие отечественные и зарубежные ученые как Ерофеев А.А., Жданов А.А., Коньков В.Г., Лохин В.М., Лу Ю.З., Макаров И.М., Омату С., Поспелов Д.А., Пупков К.А., Хангрос К.М., Юсупов Р.М. Рекомендации авторов базируются на проектном подходе для разработки подобных информационных систем [1]. Однако на практике формирование проектных команд происходит формально, недооценивается важность управления человеческими ресурсами на концептуальном уровне проработки проекта. В связи с выше сказанным появляется потребность развития проектного подхода в части организации и координации работы специалистов организации и разработчиков ИСУ.

В основе управления проектами лежат следующие основные принципы:

- принцип цели, заключающийся в том, что проектируемая система является средством для достижения действительно имеющихся нужд системы управления, выражаемые целью разработки ИСУ;
- принцип целостности, согласно которому спроектированная система обеспечила целедостижение только в том случае, если в ее проекте учтут существенную связность среди разрозненных элементов и связи проектируемой ИСУ с внешними системами.

Проектный подход в разработке ИСУ сводится к реализации данных принципов на таких этапах работы как: разработка проекта ИСУ и плана-графика его реализации; определение целей разработки ИСУ; создание рабочей группы проекта; разработка программных компонентов; поддержание проекта в актуальном состоянии. Разработчики, не знающие специфики объекта информатизации, могут предложить лишь общие стандартные решения, основанные на их собственном опыте и опыте аналогичных организаций.

Представители заказчика обычно активно привлекаются к работе на этапе тестирования, когда внесение принципиальных изменений в ИСУ является трудоемким и дорогостоящим. В связи с этим развитие проектного подхода должно идти в направлении уточнения его принципов и этапов, соответствующих внешнему и концептуальному уровням разработки ИСУ.

В рамках данного исследования были уточнены и предложены новые принципы, дополняющие традиционный проектный подход:

– принцип цели (уточненный), согласно которому спроектированная система является средством получения действительно имеющихся нужд системы управления, выражаемые в назначении разработки системы, являющейся подцелью в «дереве целей» организации;

принцип целостности (уточненный), заключающийся в проектировании такой системы, которая послужит гарантией завоевания целей, если в плане системы будут учитывать существенную связность между разрозненными элементами системы и связность спроектированной системы с внешними системами, соответствующие организационно-коммуникационной модели и бизнес-модели, реализуемой организацией;

– принцип специализации (предложенный), предусматривающий специализацию каждого члена рабочей группы проекта на отдельных существенных аспектах предметной области.

В соответствии с данными принципами предлагается следующий алгоритм разработки и внедрения ИСУ:

- 1) идентификация целей разработки ИСУ исходя из стратегии и целей конкретной организации;
- 2) образование рабочей команды проекта с включением специалистов (внешних и внутренних), имеющих практический опыт в предметной области, обладающих актуальными знаниями;
- 3) разработка рабочей группой проекта ИСУ и плана-графика его реализации;
- 4) разработка программных компонентов ИСУ;
- 5) поддержание проекта ИСУ в актуальном состоянии.

Результаты исследования предметной области обычно представляются в форме моделей нескольких видов: семантической информационной модели и обобщенной модели бизнес-процессов. От качества разработки данных моделей зависит эффективность разрабатываемой ИСУ. При использовании семантической информационной модели можно получить представление о характеристиках и логической взаимосвязи объекта предметной сферы. Проектирование структуры таблиц базы данных в данном случае основывается именно на этой модели. На все вопросы по будущей информационной системе дает ответ обобщенная модель бизнес-процессов. На такие вопросы как:

1. Каким образом связаны бизнес-процессы?
2. Основу информационной системы какие базовые бизнес-процессы составят?
3. С какими внешними системами связана информационная система?

4. Какие объекты задействованы этими базовыми бизнес-процессами?

Эффективная работа специалистов в команде разработчиков проекта ИСУ должна быть обеспечена эффективным инструментарием анализа и оценки адекватности модели бизнес-процессов, лежащей в основе проектирования ИСУ. Традиционные методы сводятся к проверке соблюдения правил выделения процессов [2], что не гарантирует достижение положительных результатов внедрения ИСУ, ожидаемых заказчиком.

В основе обобщенной модели лежит понятие «бизнес-процесс», определение которого представлено в стандарте МС ИСО 9000:2000. Такое понимание бизнес-процесса является достаточно общим, недостаточным для отражения специфики объекта информатизации. В связи с вышеизложенным предлагается рассматривать бизнес-процесс как алгоритм выполнения определенных действий. Алгоритм представляет собой итоговую группу правил, которая имеет необходимые свойства конечности, определенности, ввода, вывода, эффективности. Сравнение определений «алгоритма» и «бизнес-процесса» представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение понятий «алгоритм» и «бизнес-процесс»

Атрибуты алгоритма	Атрибуты бизнес-процесса
Начало	Начало
Входные данные	Данные (вводит пользователь)
Ветвление алгоритма в рамках заданных логических параметров, циклы алгоритма	Ветвление процесса в рамках заданных условий
Выходные данные (результаты вычислений)	Данные на экранных формах
Конец	Конец

На основе сравнения определений данных понятий можно сделать вывод об их тождественности. Наличие общих атрибутов и достижимость получения из бизнес-процесса рекурсивной модели позволяет сделать вывод о шансе представления процесса как алгоритма. В связи с тем, что бизнес-процессы большей части организаций имеют одинаковую концепцию (в части внесения первичной информации, взаимодействия), а алгоритму присуща рекурсия, появляется возможность применять к процессам методы, применяемые для алгоритмов. Оценка эффективности и оптимизация бизнес-процессов позволит избавиться от «узких мест» и вывести возможные направления совершенствования информационной модели еще на этапе разработки прототипа ИСУ.

Дальнейшее исследование необходимо проводить в направлении разработки методики оценки эффективности и оптимизации информационной модели бизнес процессов.

Литература

1. Мерedit Дж., Мантел С. Управление проектами. СПб.: Питер, 2014. – 640 с.
2. Довганова О.И., Виноградова Е.В., Лобанова А.М. Моделирование бизнес-процессов: Учебник и практикум. М.: Юрайт, 2016. – 290 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЕКТАМИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-02935)

В настоящее время идеи проектного менеджмента получили широкое распространение и применяются в самых разнообразных областях и сферах жизни человека. Повышенный интерес к применению проектного управления на производстве вызван рядом причин. Во-первых, данный подход еще на стадии планирования позволяет выделить процессы, которые обеспечивают достижение заданных целей, а, во-вторых, он служит основанием для разработки четкого плана работ, который оптимизирует имеющиеся у организации ресурсы, необходимые для реализации поставленных задач.

В соответствии с международным стандартом *PMBOK*, под проектом понимается временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов [1]. Любой производственный проект можно рассматривать как множество взаимосвязанных процессов, имеющих собственную сложную структуру. При этом каждый из них включает ряд работ, состав которых зависит от этапа жизненного цикла проекта (например, формирование идеи проекта, проведение НИОКР, создание опытного образца) и области управления (планирование, выполнение, контроль и т.д.).

Управление работами проекта является сложной задачей, выполнение которой во многом зависит от эффективности применяемых методик. Следует отметить, что для сложных производственных проектов целый ряд задач являются слабо структурированными, т.е. плохо поддающимися формализации. Для них применение традиционных методов не дает удовлетворительного результата, в связи с чем возникает необходимость поиска новых решений [2].

В настоящее время быстрыми темпами идет развитие области знаний, связанной с доработкой и созданием новых возможностей искусственного интеллекта, представляющей собой научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи аппаратного или программного моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными. В последнее время отдельные методы и алгоритмы искусственного интеллекта все чаще используются в составе информационных систем управления организационно-экономическими объектами (рисунок 1).

На основании представленных методов на рисунке 1 можно выделить три интеллектуальных подхода, применяемых в процессе управления проектами: классический, поведенческий и эволюционный. В данном случае первый подход будет включать в себя такие методы как «мягкие вычисления», байесовские и экспертные методы. Классический подход предполагает использование интеллектуальных методов и алгоритмов для получения

прогнозных оценок показателей, используемых при управлении проектами. Эти оценки в дальнейшем применяются для целей планирования, создания обеспечивающих структур (организационных, технических), выбора альтернативных управленческих решений и ряда других.



Рисунок 1 – Методы искусственного интеллекта

Поведенческий подход предусматривает наличие различных алгоритмов функционирования системы. Чаще всего он реализуется за счет модульного построения. Каждый модуль системы реализует алгоритмы, адекватные тем или иным условиям реализации проекта. Переход от одного модуля к другому осуществляется автоматически в зависимости от изменений внешней и внутренней среды. Примером практической реализации данного метода являются мультиагентные системы.

В проектном менеджменте часто приходится сталкиваться с такими ситуациями, исход которых зависит от сигналов, поступивших из окружающей среды проекта. Например, на этапе коммерциализации в зависимости от выбранного способа ее проведения приходится решать различные задачи, требующие применения методов искусственного интеллекта.

Рассмотрим пример коммерциализации инноваций. Существует три способа ее осуществления: самостоятельное использование, передача части прав и полная передача прав на изобретение. В зависимости от того, какой способ выбран, необходимо решать различные задачи. Так, в первом случае анализ вариантов целесообразно производить на основании прогнозов, полученных путем обработки накопленной информации с помощью нейронных

сетей. В случаях же полной и частичной передачи прав необходимая информация часто отсутствует, поэтому здесь целесообразнее использовать экспертные системы.

В рамках эволюционного подхода поиск интеллектуальных инструментов поддержки принятия решений осуществляется путем эволюционных вычислений. Эволюционные вычисления обычно используются для общего описания алгоритмов поиска, оптимизации или обучения, основанных на некоторых формализованных принципах естественного эволюционного процесса. Данный подход реализуется в методах эволюционного проектирования, эволюционных стратегий, методе группового учета аргументов (МГУА), генетических алгоритмах.

Использование данного подхода обосновано для тех задач управления проектами, для которых характерны большие временные затраты на сбор информации и ограниченность в возможности моделирования. Примером такой задачи является планирование производства новой высокотехнологичной продукции, аналогов которой на рынке не существует. Для ее решения необходимо использование формализованного описания (модели) проекта, сложность которого наращивается в процессе поступления новых экспертных и статистических данных о внутренней и внешней среде.

Также к эволюционному подходу можно отнести группу методов роевого интеллекта, которые описывают поведение децентрализованных самоорганизующихся систем. На сегодняшний день данная группа постепенно пополняется все новыми методами, например, такими как светляковый алгоритм, метод роя частиц, метод капель. Однако наибольшее распространение получили муравьиные и пчелиные алгоритмы.

Примеры задач управления сложными производственными проектами, решаемые в рамках каждого из выделенных подходов, приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Задачи управления сложными производственными проектами, решаемые в рамках отдельных интеллектуальных подходов

Таким образом, можно отметить, что от выбора метода, адекватного рассматриваемой задаче, зависит возможность использования полученных результатов в процессе принятия решений. В связи с этим можно надеяться, что рассмотрение особенностей различных методов искусственного интеллекта и возможностей их использования при управлении проектами, окажется полезным как для исследователей, занимающихся проблемами поиска методов решения задач проектного управления, так и специалистов-практиков.

Литература

1. Люгер Джордж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003.
2. Мешалкин В.П., Стоянова О.В., Дли М.И. Исследование искусственных нейронных сетей, используемых для моделирования свойств создаваемых композиционных наноматериалов // Известия Вузов. Химия и химическая технология. 2011. Том 54. Выпуск 5. С.124-127

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1.	Акулов М.В, Максимов В.П. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ	3
2.	Андреенков Е.С., Шунаев С.А. РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ЛЭП 110 кВ	8
3.	Вайтеленок Л.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	12
4.	Воробьев В.В., Белоусов В.Н. РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЕГО СОСТОЯНИЯ	16
5.	Гордиевский Д.Д., Дрокин В.А., Шунаев С.А. ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХАРВЕСТРА НА ОСНОВЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO	19
6.	Долецкая Л.И., Давыденкова Е.С. ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ	24
7.	Долецкая Л.И., Петров А.И. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	27
8.	Долецкая Л.И., Приказчик Е.Н. ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ 10 КВ	31
9.	Долецкая Л.И., Рыбников А.О. ПРИМЕНЕНИЕ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 КВ	34
10.	Дубровская Т.И., Глазунова А.Д. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	37
11.	Дубровская Т.И., Шабанов А.С., Горячев В.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР	41
12.	Кавченков В.П., Тихонова А.К. ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ПРЕДПРИТИЙ	46
13.	Кациева Е.Г., Кадиев С.М. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТУРБИН НА ГЭС	50

14.	Киселев В.Ф., Солопов Р.В. ОЦЕНКА ВОЗРАСТАНИЯ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ	53
15.	Ковженкин В.С., Певцова Л.С. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ МЕРТВЫХ ЗОН (РЗМЗ)	55
16.	Петров В.С. КРИТЕРИАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	59
17.	Петров В.С. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	64
18.	Солопов Р.В., Черненко И.Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА СТОИМОСТИ ВЫРАБОТКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	67
19.	Фролков О.А., Киселев К.О., Хабибуллаева М.Ш. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГООТДАЧИ ВЕТРОГЕНЕГАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	71

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1.	Белалов В.Р., Богатырев А.Ф., Макеев О.А. ТЕРМОДИФФУЗИЯ В СМЕСИ CH_4 - $n\text{C}_4\text{H}_{10}$ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ, ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ	76
2.	Богатырев А.Ф., Макеев О.А., Белалов В.Р. К РАСЧЕТУ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ ГАЗОВ	79
3.	Галковский В.А., Новикова А.Н. ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ ТЕПЛООБМЕНА ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ	82
4.	Голубев А.В., Амозов Е.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА БЛА	86
5.	Данилов П.Е., Барышников В.А. АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ	90
6.	Денисенко А.Ю., Халла А.В. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ СШП-СИГНАЛОВ	95
7.	Кисляков М.А., Чернов В.А., ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОПИТКИ СТАТОРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	98
8.	Крутиков К.К., Рожков В.В. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АГРЕГАТОВ СЕКЦИЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ ОБЕСТОЧИВАНИИ И САМОЗАПУСКЕ	101

9.	Кулик Ю.Д., Глуздов А.П., ИНДУКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИЕЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ	105
10.	Ларькина Т.С., Льготчиков В.В. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ ДАТЧИКОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА	110
11.	Леневский Г.С., Спиридонов Н.В. ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	113
12.	Макаров Л.Н., Курилин С.П., Денисов В.Н., Власенков А.А. РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ	117
13.	Макеев О.А., Богатырев А.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В ТРЕХ-КОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ H_2 - CH_4 -Ar И He- N_2 - CO_2	121
14.	Максимов В.П. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ЖИЛОМ ДОМОСТРОЕНИИ	125
15.	Окунев Н.А., Битаев Е.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА БЛА	130
16.	Полющенко И.С. РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	135
17.	Полющенко И.С. РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМУ ИНТЕРФЕЙСУ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	140
18.	Полющенко И.С., Колыщенко Н.А. УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ	146
19.	Рамазанова Д.К. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В АВТОМОБИЛЯХ	150
20.	Саватеева И.С. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛИХТОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ	153
21.	Селиванов В.А., Сериков А.П. УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ	157
22.	Сергеева А.А., Любова Т.С. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА СЕРИИ ST	160
23.	Малиновский А.Е., Сидорцов И.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	164
24.	Соколова Е.М., Измайлов П.В. ЭЛЕКТРОМАГНИТ (ЭМ) ПОДВЕСА В СОСТАВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА (ВСНТ)	170

25.	Томашевич Д.С., Леневский Г.С. Ларькина Т.С., Льготчиков В.В. АНАЛИЗ И ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА	174
26.	Третьяков А.С., Капитонов О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	177
27.	Халла А.В., Кирпа Д.В. АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СШП ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ	181
28.	Чернышев В.А., Чередников А.А. ИСПЫТАНИЕ СТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПРОМЕЖУТКА МАКЕТА СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	184
29.	Чередов В.В., Леневский Г.С. АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ	187
30.	Черная Л.Г., Архипцов Д.И. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ДЫМОСОСА ПАРОВОГО КОТЛА	190
31.	Черная Л.Г., Гончар А.С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТНОГО КРУГА ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО	195
32.	Чупова А.В., Галковский В.А. ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ	199
33.	Чупова М.В., Галковский В.А. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	204

СЕКЦИЯ 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1.	Амяга В.В., Гадасина Л.В. РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ SMART DATA В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ	208
2.	Арличенкова Ю.Н., Панкратова Е.А., Луферов В.С. МЕТОДЫ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ NGINX	210
3.	Ахметова В.Н., Черновлаова М.В., Булыгина О.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТОРОМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ	216
4.	Бобков В.И. РАВНОМЕРНЫЙ НАГРЕВ ПЛОТНОГО СЛОЯ ОКАТЫШЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН	220
5.	Богатилов В.Н., Ключин А.Ю., Диалло Амаду Бойе, Дим Дике Терфа, МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТ-САЙТА НА ОСНОВЕ ЕГО МЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ	224

6.	Болотова М.А., Скобелева М.С., Окунев Б.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	228
7.	Борисов А.В., Сливкина Е.В. СИНТЕЗ ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА НА ОСНОВЕ ЗАДАНИЯ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ	232
8.	Борисов А.В. МОДЕЛЬ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ЗВЕНА ЭКЗОСКЕЛЕТА	235
9.	Булыгина О.В., Черновалова М.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА	239
10.	Булыгина О.В., Назарова Е.А. ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ РЕИНЖИРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	242
11.	Булыгина О.В., Рындина А.С. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА CASE-СРЕДСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА	245
12.	Булыгина О.В., Фомичев С.С. ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ И ГРУППОВОЙ РАБОТЫ	249
13.	Булыгина О.В. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	252
14.	Бурдо Г.Б., Семенов Н.А. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ СОЗДАНИИ САПР ТП	255
15.	Васильева П., Баженов Р.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ МАХИМА	259
16.	Ветров А.Н., Лукашевич М.М. СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ	262
17.	Гончаров И.Ю., Панкратова Е.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ TAKE-GRANT	265
18.	Денисов В.Н., Курилин С.П. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ К ИССЛЕДОВАНИЮ ТОКОВ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА С ПОВРЕЖДЕНИЕМ В ОДНОМ СТЕРЖНЕ	267
19.	Емельянов А. А., Булыгина О.В., Наумов Д.С. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ СЛУЖБАМИ СППР АЭРОПОРТА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	271
20.	Зернов М.М., Покровский А.Н. СРЕДА РАЗРАБОТКИ PYTHON ДЛЯ УЧЕБНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ	275

21.	Зыков И.И. ОБНАРУЖЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ, НАКРЫВАЮЩИХ ДЕФЕКТЫ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА	279
22.	Карпова Е.Г., МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ СУБЪЕКТОВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА	283
23.	Клюшин А.Ю., Богатилов В.Н., Палюх Б.В., Окаш Д.Э.Я. МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ТАБЛЕТИРОВАННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ	288
24.	Ковалева И.В., Баженов Р.И. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОМОГАЮЩЕЙ АБИТУРИЕНТУ ОПРЕДЕЛИТЬСЯ С ПОСТУПЛЕНИЕМ НА ФАКУЛЬТЕТ ПРИАМУРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА	293
25.	Козлов П.Ю., Зернов М.И. СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА КОРОТКИХ ДОКУМЕНТОВ	297
26.	Лебедева М.Ю., Рындина А.С. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ	300
27.	Лобанева Е.И., Рысин Д.О., Тютюнник А.А. ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОДВИЖЕНИЯ САЙТОВ В ИНТЕРНЕТЕ	305
28.	Маслова А.С., Тютюнник А.А. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ К ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ	309
29.	Попова Д.Ю. ВЛИЯНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ КПД ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА	312
30.	Прокуденков Н.П. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СО СЛУЧАЙНЫМ КВАНТОВАНИЕМ	315
31.	Прокуденков Н.П., Манькин В.В. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	319
32.	Прохорова Н.Ю., Баженов Р.И. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ROMWIN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ «ЗЛОУМЫШЛЕННИК – АДМИНИСТРАТОР»	324
33.	Пучков Ю.И. ВОЗМОЖНОСТЬ УМЕНЬШЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОДА ПРИ СОХРАНЕНИИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРАВИЛЬНОГО ПРИЁМА	327
34.	Пучков А.Ю. АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА В ЗАДАЧЕ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	330
35.	Русаков Д.В., Панкратова Е.А. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБМАННЫХ СИСТЕМ ТИПА HONEYROT	333
36.	Седова Н.А. Седов В.А. УПРАВЛЕНИЕ УМНЫМ ДОМОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ	336

37.	<i>Симоненков П.С., Свириденков К.И., АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЖАТИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ</i>	339
38.	<i>Симонов Д.А., Зернов М.И. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ID3 ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РОБОТА</i>	343
39.	<i>Стоянова О.В. ПРОЦЕДУРА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЕКТАМИ</i>	346
40.	<i>Тютюнник А.А., Рындина А.С. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ</i>	351
41.	<i>Тютюнник А.А., Рындина А.С. РОССИЙСКИЙ РЫНОК СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА</i>	354
42.	<i>Фомченкова Л.В., Михайлова С.Е. РАЗВИТИЕ ПРОЕКТНОГО ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯМИ</i>	358
43.	<i>Черновалова М.В., Булыгина О.В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЕКТАМИ</i>	361

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2016
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,
математическое моделирование и информационные технологии в производстве)
Сб трудов VI -ой Межд. науч.-техн. конф.
Сборник трудов в 3-х томах
Том 1

Подписано в печать 07.11.2016 г.
Формат 60x84¹/₁₆ . Тираж 100 экз. Печ. л. 23,25. Усл. печ. л. 21,62

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-320-5

